

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-041095

**(43)Date of publication of application : 13.02.2001**

F02D 45/00  
F02D 41/18

(71)Applicant : TOYOTA MOTOR CORP

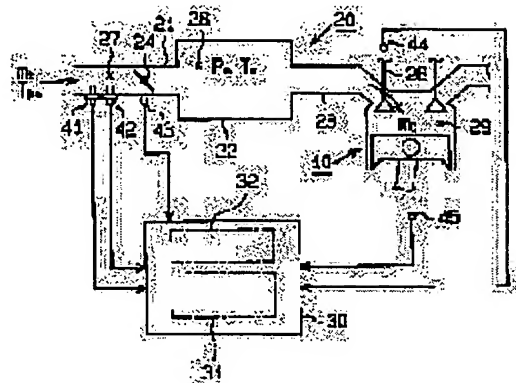
(72)Inventor : KOBAYASHI DAISUKE  
OHATA AKIRA

(54) INTAKE AIR FLOW ESTIMATE DEVICE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To estimate the intake air flow introduced in a combustion chamber through an intake passage precisely regardless of an engine operation state.

**SOLUTION:** The calculation device 30 of an internal combustion engine 10 estimates the temperature after the prescribed term from the present point of time of the intake air staying on the down streamside part 28 than the throttle valve 24 of the intake passage 20 based on the fluid model regarding the intake air in an intake passage 20 and the temperature information at the present point of time of the intake air. The calculation device 30 estimates the intake air flow introduced in the combustion chamber 29 from the downstream part 28 after the prescribed term from the present point of time while reflecting the estimation result.



## LEGAL STATUS

**[Date of request for examination]**

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

**[Date of extinction of right]**

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] In the inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine which adjusts the amount of the inhalation air introduced into a combustion chamber by the throttle valve of an inhalation-of-air path To the inhalation air in the aforementioned inhalation-of-air path The related fluid model The temperature information on this time of this inhalation air The amount of the inhalation air introduced into the aforementioned combustion chamber from the aforementioned downstream portion in a predetermined period from this time, presuming the temperature after a predetermined period from this time of the inhalation air which is alike, is based and exists in the portion of a downstream rather than the aforementioned throttle valve of the aforementioned inhalation-of-air path, and reflecting this presumed result Inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine characterized by having a prediction means to predict.

[Claim 2] In the inhalation air-content prediction equipment of an internal combustion engine according to claim 1 the aforementioned prediction means The fluid model built based on the heat energy conservation law and mass conservation law about inhalation air of the aforementioned downstream portion, Based on the pressure and temperature in this time of inhalation air of the amount in this time and temperature of the inhalation air which flows into the aforementioned downstream portion, and the aforementioned downstream portion, the pressure and temperature after a predetermined period are presumed from this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion. Inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine characterized by being what predicts the aforementioned inhalation air content based on the this pressure presumed and temperature.

[Claim 3] In the inhalation air-content prediction equipment of an internal combustion engine according to claim 2 the aforementioned prediction means  $m_t(0)$  and temperature for the amount in this time of the inhalation air which flows into the aforementioned downstream portion  $T_{ha}$ ,  $P_m(0)$  and temperature for the pressure in this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion  $T_m(0)$ , When the ratio of specific heat of  $m_c(i)$  and air is set to  $\kappa$  and capacity of  $R$  and the aforementioned downstream portion is set [ the amount of the inhalation air introduced into a combustion chamber from the aforementioned downstream portion ] to  $V$  for a gas constant, The pressure  $P_m(i)$  of the inhalation air of the discrete formula (1) obtained from each aforementioned conservation law, (2) and the aforementioned inhalation air content  $m_c(i)$ , and the aforementioned downstream portion, and relational expression with temperature  $T_m(i)$  (3)

[Equation 1]

$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) \cdot T_{ha} - m_c(i-1) \cdot T_m(i-1)) \quad \cdots(1)$$

$$\frac{P_m(i)}{T_m(i)} = \frac{P_m(i-1)}{T_m(i-1)} + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) - m_c(i-1)) \quad \cdots(2)$$

$$m_c(i) = f(P_m(i), T_m(i)) \quad \cdots(3)$$

$i = 1 \sim n$  の整数

$\Delta t$ : 離散間隔  $t_{fwd} = \sum_{i=1}^n (\Delta t(i))$

$f(P_m(i), T_m(i))$ :  $P_m(i)$ ,  $T_m(i)$  についての関数

Inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine characterized by being what presumes the pressure  $P_m(n)$  and temperature  $T_m(n)$  after the predetermined period  $t_{fwd}$  from this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion by performing processing only whose number of times  $n$  of predetermined it is alike and repeats the based operation.

[Claim 4] In the inhalation air-content prediction equipment of an internal combustion engine according to claim 3 the aforementioned prediction means Perform a series of aforementioned repetitive operation for every predetermined interruption period, and it sets to this interruption timing. Inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine characterized by being what computes either [ at least ] the pressure  $P_m$  in this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion used for the repetitive operation in next interruption timing (0), or the temperature  $T_m$  (0).

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine which predicts the amount of the inhalation air introduced into an engine combustion chamber.

[0002]

[Description of the Prior Art] In case the amount (inhalation air content) of the air introduced into the combustion chamber of an internal combustion engine through an inhalation-of-air path determines the controlled variable of internal combustion engines, such as fuel-injection control and ignition-timing control, as what reflects engine operational status most with an engine rotational frequency, it is used, and this is usually called for based on the detecting signal from an air flow meter or an intake-pressure sensor prepared in the inhalation-of-air path.

[0003] By the way, it faces computing the controlled variable of an internal combustion engine based on an inhalation air content, and if it is at the time of transient operation when the inhalation air content in this time called for from detecting signals, such as an air flow meter, is used as it is, this controlled variable comes to be determined based on a different inhalation air content from the time of the controlled variable actually being reflected in engine control. Thus, if the inhalation air content used for the determination of a controlled variable differs from the inhalation air content in case the controlled variable is reflected in engine control, even though control adapted to actual engine operational status cannot be performed but it will raise the control precision, a limitation comes to arise naturally.

[0004] Then, the inhalation air content after a predetermined period is predicted from this time, and the equipment which determined the controlled variable based on the forecast is conventionally proposed so that it may be indicated by JP,2-42160,A. By performing such prediction, the inhalation air content at the time of a controlled variable being reflected in engine control can be foreseen beforehand, this controlled variable can be determined now, and improvement in control precision comes to be achieved.

[0005] Moreover, an inhalation air content changes also with an engine rotational frequency, or intake-air temperatures besides the opening of a throttle valve. For example, since the inhalation density of air becomes large so that an intake-air temperature becomes low, an inhalation air content also comes to increase. Therefore, it becomes important, when obtaining a prediction result accurate [ also taking into consideration the influence of such an intake-air temperature ], in case an inhalation air content is predicted as mentioned above.

[0006] The intake-air temperature in the position of an upstream is detected, and it is made to make the intake-air temperature (for this to be hereafter, called "upstream intake-air temperature", when it is necessary to distinguish especially from the intake-air temperature in other positions of an inhalation-of-air path) reflect in prediction of an inhalation air content rather than the throttle valve of an inhalation-of-air path with this point and the above-mentioned equipment.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, although the above-mentioned conventional equipment is making the intake-air temperature reflect in prediction of an inhalation air content, it cannot but perform the prediction to the last by making for position-change and its time change of an intake-air temperature not to arise during the prediction in an inhalation-of-air path into a prerequisite.

[0008] If surely it is at the time of steady operation by which the opening of a throttle valve is held uniformly, since it is in the range which most position-change of the intake-air temperature in such an inhalation-of-air path does not have, and can also disregard change of a time intake-air temperature, though an inhalation air content is predicted only based on the upstream intake-air temperature mentioned above though the inhalation air content was predicted under the above-mentioned prerequisite, gross errors do not arise in the prediction result.

[0009] However, if it is when the opening of a throttle valve changes rapidly at the time of transient operation, intake-air temperatures come to differ according to the position in an inhalation-of-air path, and the time change cannot be disregarded greatly, either. Therefore, the above-mentioned prerequisite does not meet the actual temperature state of the inhalation air in such an inhalation-of-air path.

[0010] For example, when the amount of the inhalation air which flows into the downstream portion of this valve when the opening of a throttle valve increases increases rapidly, the inhalation air of this downstream portion will be compressed and the temperature (henceforth a "downstream intake-air temperature") will come to rise more temporarily than the upstream intake-air temperature mentioned above. Since it will be conversely expanded by the inhalation air of this downstream portion when the amount of the inhalation air which flows into the aforementioned downstream portion on the other hand when the opening of a throttle valve decreases decreases rapidly, a downstream intake-air temperature comes to fall more temporarily than an upstream intake-air temperature.

[0011] thus, temporary, if it is at the time of transient operation from which the opening of a throttle valve changes -- an imitation -- a downstream intake-air temperature may become temperature which is changed sharply in time and is different from an upstream intake-air temperature. Consequently, if it is in the conventional equipment which predicts by making for change [  $be / \text{time} / \text{position} - / \text{it}$  ] of an intake-air temperature not to arise in an inhalation-of-air path into a prerequisite, so to speak, the influence by the dynamic behavior of the intake-air temperature at the time of such transient operation is not reflected in prediction of an inhalation air content, therefore the error of the prediction result cannot be disregarded, either.

[0012] This invention is made in view of such the actual condition, and the purpose is in offering the inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine which can predict the amount of the inhalation air introduced into a combustion chamber through an inhalation-of-air path with a sufficient precision even if it is at the transient operation time.

[0013]

[Means for Solving the Problem] The means and its operation effect for attaining the above-mentioned purpose are indicated below. In the inhalation air-content prediction equipment of the internal combustion engine which adjusts the amount of the inhalation air with which invention indicated to the claim 1 is introduced into a combustion chamber by the throttle valve of an inhalation-of-air path To the inhalation air in the aforementioned inhalation-of-air path The related fluid model The temperature information on this time of this inhalation air The amount of the inhalation air introduced into the aforementioned combustion chamber from the aforementioned downstream portion in a predetermined period from this time, presuming the temperature after a predetermined period from this time of the inhalation air which is alike, is based and exists in the portion of a downstream rather than the aforementioned throttle valve of the aforementioned inhalation-of-air path, and reflecting this presumed result It is made to have a prediction means to predict.

[0014] A prediction means presumes the temperature of the inhalation air of the aforementioned downstream portion based on the fluid model about the inhalation air in an inhalation-of-air path, and the temperature information (physical quantity which has these or correlation, such as a mode of temperature or a temperature change) on this time of this inhalation air, and makes the presumed result reflect in prediction of an inhalation air content in the above-mentioned composition. Therefore, even if it was the case where the temperature of this downstream portion changed from this time transitionally, when the transitional change has been grasped, an inhalation air content can be predicted, and a very accurate prediction result can be obtained now.

[0015] Moreover, since the amount of the inhalation air introduced into a combustion chamber through an inhalation-of-air path tends to increase, so that the pressure of the inhalation air of the above-mentioned downstream portion becomes high, and so that the temperature becomes low, it can ask for this based on the above-mentioned pressure and temperature. Therefore, the amount of the inhalation air introduced into a combustion chamber in a predetermined period from this time based on the pressure and temperature which are they-presumed can be predicted now by presuming the pressure and temperature after a predetermined period from this time of the inhalation air of a downstream portion.

[0016] Furthermore, the pressure and temperature after a predetermined period can presume these based on the heat energy conservation law about the inhalation air of a downstream portion, and a mass conservation law by relating with physical quantity called the pressure and temperature of inhalation air in this time of the amount in this time and temperature of the inhalation air which flows into a downstream portion, and its downstream portion from this time of the inhalation air of this downstream portion.

[0017] Invention indicated to the claim 1 is set to the above-mentioned inhalation air-content prediction equipment as composition materialized more like invention which indicated to the claim 2. therefore, the - aforementioned prediction means The fluid model built based on the heat energy conservation law and mass conservation law about inhalation air

of the aforementioned downstream portion, Based on the pressure and temperature in this time of inhalation air of the amount in this time and temperature of the inhalation air which flows into the aforementioned downstream portion, and the aforementioned downstream portion, the pressure and temperature after a predetermined period are presumed from this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion. The composition that it is what predicts the aforementioned inhalation air content based on the this pressure presumed and temperature is employable.

[0018] Invention indicated to the claim 3 is set to the inhalation air-content prediction equipment of an internal combustion engine according to claim 2. moreover, the aforementioned prediction means  $m_t(0)$  and temperature for the amount in this time of the inhalation air which flows into the aforementioned downstream portion  $T_{ha}$ ,  $P_m(0)$  and temperature for the pressure in this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion  $T_m(0)$ , When the ratio of specific heat of  $m_c(i)$  and air is set to  $\kappa$  and capacity of  $R$  and the aforementioned downstream portion is set [ the amount of the inhalation air introduced into a combustion chamber from the aforementioned downstream portion ] to  $V$  for a gas constant, The pressure  $P_m(i)$  of the inhalation air of the discrete formula (1) obtained from each aforementioned conservation law, (2) and the aforementioned inhalation air content  $m_c(i)$ , and the aforementioned downstream portion, and relational expression with temperature  $T_m(i)$  (3)

[0019]

[Equation 2]

$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) \cdot T_{ha} - m_c(i-1) \cdot T_m(i-1)) \cdots (1)$$

$$\frac{P_m}{T_m}(i) = \frac{P_m}{T_m}(i-1) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) - m_c(i-1)) \cdots (2)$$

$$m_c(i) = f(P_m(i), T_m(i)) \cdots (3)$$

$i = 1 \sim n$ の整数

$\Delta t$ : 離散間隔  $tfwd = \sum_{i=1}^n (\Delta t(i))$

$f(P_m(i), T_m(i))$ :  $P_m(i), T_m(i)$ についての関数

By performing processing only whose number of times  $n$  of predetermined it is alike and repeats the based operation, it is supposed that it is what presumes the pressure  $P_m(n)$  and temperature  $T_m(n)$  after the predetermined period  $tfwd$  from this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion.

[0020] Since according to the above-mentioned composition it is dispersed and expressed as the aforementioned fluid model is shown in each above-mentioned formula (1) and (2), the pressure  $P_m(n)$  and temperature  $T_m(n)$  after a predetermined period can be presumed based on a comparatively easy algorithm from this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion.

[0021] It sets to the inhalation air-content prediction equipment of an internal combustion engine according to claim 3 like invention indicated to the claim 4 in performing such data processing. moreover, the - aforementioned prediction means Perform a series of aforementioned repetitive operation for every predetermined interruption period, and it sets to this interruption timing. If the composition that it is what computes either [ at least ] the pressure  $P_m$  in this time of the inhalation air of the aforementioned downstream portion used for the repetitive operation in next interruption timing (0) or the temperature  $T_m(0)$  is adopted Not using a sensor etc., \*\* can also ask for the pressure  $P_m$  of the above-mentioned inhalation air (0), or its temperature  $T_m(0)$  serially through the above-mentioned repetitive operation, and simplification of the composition of inhalation air-content prediction equipment can be attained now.

[0022] Moreover, generally, since the responsibility of a general-purpose temperature sensor is low, when the temperature  $T_m$  of inhalation air (0) is detected using this sensor, it is difficult to detect change of this temperature  $T_m(0)$  with a sufficient precision, and it cannot finish being avoided that an error arises in the detection result.

[0023] In this point and the above-mentioned composition, if especially the temperature  $T_m$  of an inhalation air content (0) is computed, while being able to attain simplification of composition, the fall of the predictability resulting from the detection error of such a sensor can be avoided.

[0024]

[Embodiments of the Invention] The 1st operation form of this invention is explained below [the 1st operation form].

[0025] It is made to apply the inhalation air-content prediction equipment concerning this invention to the internal combustion engine equipped with an air flow meter as a sensor which detects an inhalation air content with this operation form. First, with reference to drawing 1, the outline of this internal combustion engine 10 and the composition of this prediction equipment are explained.

[0026] The inhalation-of-air path 20 of an internal combustion engine 10 is constituted by the suction-port 23 grade

which connects the surge tank 22 connected to the aisleway of the throttle body 21 in which the throttle valve 24 was formed, and the downstream of this throttle body 21 and this surge tank 22, and a combustion chamber 29. After metering of the inhalation air which flows the inhalation-of-air path 20 is carried out by the throttle valve 24, it is introduced in a combustion chamber 29 at the time of valve opening of an inlet valve 26.

[0027] Inhalation air-content prediction equipment predicts the amount of the inhalation air introduced in a combustion chamber 29 in a predetermined period from this time, and is greatly constituted by the various sensors 41-45 including an arithmetic unit 30 and an air flow meter 41.

[0028] The arithmetic unit 30 is equipped with the operation part 31 which performs data processing, and the memory 32 the various function data used on the occasion of the program concerning such data processing or its execution were remembered to be. This arithmetic unit 30 is constituted by the electronic control which performs various control of an internal combustion engine 10.

[0029] Others, an intake temperature sensor 42, the throttle sensor 43, the cam angle sensor 44, and crank angle sensor 45 grade are contained in sensors 41-45. [ air flow meter / above-mentioned / 41 ] All, the air flow meter 41 and the intake temperature sensor 42 are formed in the portion of an upstream from the throttle valve 24 at the inhalation-of-air path 20, and detect the amount and temperature of the inhalation air which flows in a surge tank 22 through this valve 24 (henceforth "the upstream intake-air temperature  $T_{ha}$ "), respectively.

[0030] Moreover, with this operation form, the thing of the heat ray formula equipped with the detecting element 410 which consists of a heat ray as the above-mentioned air flow meter 41 is used. Drawing 2 shows the cross-section structure of this detecting element 410. As shown in this drawing, this detecting element 410 is constituted by the heat ray 412 which consists of platinum etc., and the glass layer 414 which covers the circumference of this heat ray 412.

[0031] The throttle sensor 43 is formed near the throttle valve 24, and detects the opening (throttle opening TA) of this valve 24. The crank angle sensor 45 is formed [ near / where the cam angle sensor 44 carries out the opening-and-closing drive of the inlet valve 26 / the cam shaft (illustration abbreviation) ], respectively near the crankshaft (illustration abbreviation) which carries out the rotation drive of this cam shaft. An arithmetic unit 30 incorporates the output signal of these cam angle sensor 44 and the crank angle sensor 45, and detects the rotational speed (engine rotational frequency NE) of a crankshaft, its rotation phase (crank angle CA), and the opening-and-closing time (valve timing VT) of an inlet valve 26, respectively. In addition, the mechanism (illustration abbreviation) in which the opening-and-closing time of the above-mentioned inlet valve 26 is changed based on engine operational status, such as the engine rotational frequency NE and an engine load, is prepared in the internal combustion engine 10 of this operation form. Therefore, the above-mentioned valve timing VT will be suitably changed according to engine operational status.

[0032] Next, prediction processing of the inhalation air content by the equipment of such this operation form is explained. The principle which will be the requisite for this prediction processing first is explained.

[0033] The space from the inhalation-of-air path 20 to a combustion chamber 29 from a throttle valve 24 First, the portion of an upstream From 27 and this throttle valve 24, rather than an inlet valve 26 by the downstream The portion of an upstream (It is hereafter called an "upstream portion") (It is hereafter called a "downstream portion") It divides into 28 and three portions called a combustion chamber 29, and the fluid model about the inhalation air which exists in the downstream portion 28 among each [ these ] portions 27-29 is built.

[0034] Namely, the amount of the inhalation air which flows out of "M" and this downstream portion 28 per time the mass of the inhalation air which exists in this downstream portion 28 in a combustion chamber 29 If the amount (henceforth a "throttle-valve through put") of the inhalation air which flows (it is hereafter called "the inhalation air content in a cylinder") into the downstream portion 28 from "mc" and the upstream portion 27 is set to "mt" Variation [ per time of the above-mentioned mass M ]  $d(M)/dt$  can be expressed like the following formula (5) based on a mass conservation law.

[0035]

[Equation 3]

$$\frac{d}{dt} M = m_t - m_c \quad \dots(5)$$

On the other hand, the heat energy in which this inhalation air has them when " $T_m$ ", its isochore specific heat, and the isotonic specific heat are set to " $C_v$ " and " $C_p$ ", respectively serves as " $C_v-M-T_m$ " in the temperature (henceforth a "downstream intake-air temperature") of the inhalation air which exists in the downstream portion 28. Moreover, since the heat energy which the inhalation air which flows into a combustion chamber 29 from " $C_p-m_t-T_{ha}$ " and the downstream portion 28 has [ the heat energy which the inhalation air which flows into the downstream portion 28 from the upstream portion 27 has ] is " $C_p-m_c-T_m$ ", the variation  $d(C_v-M-T_m)/dt$  per time of above-mentioned heat energy



Cv-M-Tm can be expressed like the following formula (6) based on a heat energy conservation law.

[0036]

[Equation 4]

$$\frac{d}{dt}(C_v \cdot M \cdot T_m) = C_p \cdot m_t \cdot T_{ha} - C_p \cdot m_c \cdot T_m \quad \dots(6)$$

Moreover, about the capacity of the downstream portion 28, if the equation of state about the inhalation air which exists in the downstream portion 28 sets the pressure (henceforth a "downstream intake pressure") of the inhalation air for "V" and the said division 28 to "Pm" and sets a gas constant to "R", it will become like the following formula (7).

[0037]

[Equation 5]

$$P_m \cdot V = M \cdot R \cdot T_m \quad \dots(7)$$

Here, if the ratio of specific heat of air is set with "kappa" (=Cp/Cv), a formula (5) can express the following formulas (9) and a formula (6) like the following formulas (8) using the above-mentioned formula (7).

[0038]

[Equation 6]

$$\frac{d}{dt} P_m = \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t \cdot T_{ha} - m_c \cdot T_m) \quad \dots(8)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{P_m}{T_m} \right) = \frac{R}{V} \cdot (m_t - m_c) \quad \dots(9)$$

Furthermore, if a discrete interval is set to "deltat", the left part of each [ these ] formula (8) and (9) can be expressed as shown in the following formula (10) and (11).

[0039]

[Equation 7]

$$\frac{d}{dt} P_m = \frac{P_m(i) - P_m(i-1)}{\Delta t} \quad \dots(10)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{P_m}{T_m} \right) = \frac{\frac{P_m(i)}{T_m(i)} - \frac{P_m(i-1)}{T_m(i-1)}}{\Delta t} \quad \dots(11)$$

Therefore, the following discrete formulas (12) and (13) are drawn from each [ these ] formula (8) - (11). In addition, in this formula (12) and (13), "i" in a parenthesis shows a value and "i-1" shows a value last time this time, respectively.

[0040]

[Equation 8]

$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) \cdot T_{ha} - m_c(i-1) \cdot T_m(i-1)) \quad \dots(12)$$

$$\frac{P_m}{T_m}(i) = \frac{P_m}{T_m}(i-1) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) - m_c(i-1)) \quad \dots(13)$$

On the other hand, the inhalation air content mc in a cylinder can be calculated using the following empirical formula (14).

[0041]

[Equation 9]

$$m_c = \frac{T_0}{T_m} \cdot (a \cdot P_m - b) \quad \dots(14)$$

In an upper formula (14), each of "a" and "b" is constants, and is set as the flow of the inhalation air in the portion from the downstream portion 28 to a combustion chamber 29 at the affecting engine control parameter, i.e., here, based on the engine rotational frequency NE and valve timing VT. The relation between these constants a or a constant b and the engine rotational frequency NE, and valve timing VT is beforehand defined by experiment, and is memorized by the memory 32 of an arithmetic unit 30 as a function map. Moreover, "To" is the reference temperature (constant) of the inhalation air when setting up each constants a and b by such experiment.

[0042] As shown in each following formula (15) and (16), if this empirical formula (14) is used, each above-mentioned formula (12) and (13) can deform.

[0043]

[Equation 10]



$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot \left( m_t(i-1) \cdot T_{ha} - T_0 \cdot (a \cdot P_m(i-1) - b) \right) \quad \cdots(15)$$

$$\frac{P_m}{T_m}(i) = \frac{P_m}{T_m}(i-1) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot \left( m_t(i-1) - \frac{T_0}{T_m(i-1)} \cdot (a \cdot P_m(i-1) - b) \right) \quad \cdots(16)$$

Moreover, it can ask for the downstream intake-air temperature  $T_m$  using the formula (17) of the following obtained from each [ these ] formula (15) and (16).

[0044]

[Equation 11]

$$T_m(i) = \frac{P_m(i)}{\frac{P_m}{T_m}(i)} \quad \cdots(17)$$

Each [ these ] formula (15) So that clearly from - (17) The throttle-valve through put  $m_t$  in this time, It is based on the downstream intake pressure  $P_m$ , the downstream intake-air temperature  $T_m$ , and the upstream intake-air temperature  $T_{ha}$ . The downstream intake pressure  $P_m$  and the downstream intake-air temperature  $T_m$  after the above-mentioned discrete interval  $\Delta t$  can be presumed after a predetermined period (i.e., here) from this time. Furthermore, by substituting for a formula (14) the downstream intake pressure  $P_m$  presumed in this way and the downstream intake-air temperature  $T_m$ , the inhalation air content  $m_c$  in a cylinder after discrete interval  $\Delta t$  can be presumed from this time. [0045] Moreover, it is made to calculate the above-mentioned throttle-valve through put  $m_t$  in prediction processing of this operation form according to two ways the followings differ. Hereafter, the method at the time of calculating this throttle-valve through put  $m_t$  is explained.

[0046] First, the procedure at the time of calculating the throttle-valve through put  $m_t$  based on the detecting signal of an air flow meter 41 is explained. As everyone knows, an air flow meter 41 detects the amount of said using the heating value taken from this heat ray 412 changing according to an inhalation air content, in case inhalation air passes the circumference of a heat ray 412. The relation between the detecting signal of this air flow meter 41 and an inhalation air content is beforehand called for by experiment, and is memorized by the memory 32 of an arithmetic unit 30 as a function map. Therefore, an inhalation air content can be calculated based on the detecting signal and this function map of an air flow meter 41.

[0047] However, as compared with a heat ray 412, generally, since heat capacity is large, the above-mentioned glass layer 414 has the inclination for the temperature  $T_{gs}$  to be overdue to change of the amount of the inhalation air which passes near the detecting element 410, and to change. For this reason, if there is an inhalation air content calculated from the above-mentioned function map if it is at the time of steady operation from which an inhalation air content does not change at the time of transient operation from which a true inhalation air content and this inhalation air content of a match change, the inhalation air content calculated from a function map comes to shift from a true inhalation air content.

[0048] Then, in order to foresee beforehand the response delay about the temperature change of such a glass layer 414 and to calculate a true inhalation air content, the thermal equilibrium model about this layer 414 is built, and it is made to compute an inhalation air content with this operation gestalt based on the reverse model. In addition, in the following explanation, a true inhalation air content is made into the throttle-valve through put  $m_t$ , and the inhalation air content acquired based on the detecting signal and the above-mentioned function map of an air flow meter 41 is distinguished as a map operation value  $GA$ .

[0049] First, if temperature of a heat ray 412 is set to " $T_{ht}$ " (refer to drawing 2 ), the variation  $d(T_{gs})/dt$  of the temperature  $T_{gs}$  of the glass layer 414 can be expressed like the following formulas (18) from the balance with the heating value transmitted to the glass layer 414 from a heat ray 412, and the heating value transmitted to inhalation air from this layer 414.

[0050]

[Equation 12]

$$A \cdot \frac{d}{dt} T_{gs} = B \cdot (T_{ht} - T_{gs}) - (C + D \cdot \sqrt{m_t}) \cdot (T_{ht} - T_{ha}) \quad \cdots(18)$$

Here, "A", "B", "C", and "D" are constants determined according to \*\*, such as the cross section of a heat ray 412, length and its resistivity, and a heat transfer rate between the glass layer 414 and a heat ray 412, a heat transfer rate between the glass layer 414 and inhalation air.

[0051] Moreover, at the time of steady operation, since transfer of the heat between the glass layer 414, and a heat ray 412 and inhalation air is lost, as shown in the following formula (19) and (20), the left part  $d(T_{gs})/dt$  of temperature

changes of a formula (18), i.e., the amounts of the glass layer 414, is set to "0", and the map operation value GA and the throttle-valve through put mt become equal.

[0052]

[Equation 13]

$$0 = B \cdot (T_{ht} - T_{gs}) - (C + D \cdot \sqrt{m_t}) \cdot (T_{ht} - T_{ha}) \quad \dots(19)$$

$$GA = m_t \quad \dots(20)$$

Therefore, the following formula (21) is obtained from each above-mentioned formula (19) and (20).

[0053]

[Equation 14]

$$GA = \left(\frac{B}{D}\right)^2 \cdot \left\{ \frac{T_{ht} - T_{gs}}{T_{gs} - T_{ha}} - \frac{C}{B} \right\}^2 \quad \dots(21)$$

Furthermore, if a formula (18) is transformed using this formula (21), the following formula (22) from which the temperature Tgs of the glass layer 414 was eliminated will be obtained.

[0054]

[Equation 15]

$$\frac{d\sqrt{GA}}{dt} = \left( \frac{B+C}{A} + \frac{D}{A} \cdot \sqrt{GA} \right) \cdot (\sqrt{m_t} - \sqrt{GA}) \quad \dots(22)$$

Moreover, the left part of this formula (22) can be expressed like the following formula (23), if a discrete interval is set to "deltat."

[0055]

[Equation 16]

$$\frac{d\sqrt{GA}}{dt} = \frac{\sqrt{GA(j)} - \sqrt{GA(j-1)}}{\Delta t} \quad \dots(23)$$

Therefore, the following discrete formulas (24) are drawn from each above-mentioned formula (22) and (23). In addition, in this formula (24), "alpha" and "beta" are constants which become settled by the above-mentioned constant A-D, and "j" in a parenthesis shows the value and "j-1" shows the value last time this time, respectively.

[0056]

[Equation 17]

$$m_t(j) = \left\{ \sqrt{GA(j)} + \frac{\alpha}{\Delta t} \cdot \frac{\sqrt{GA(j)} - \sqrt{GA(j-1)}}{\beta + \sqrt{GA(j)}} \right\}^2 \quad \dots(24)$$

The throttle-valve through put mt in this time (j) can be presumed based on the map operation value GA in this time (j), and the map operation value GA (j-1) in front of discrete interval deltat so that clearly from this formula (24).

[0057] Next, the procedure at the time of calculating the throttle-valve through put mt based on engine operational status, such as the throttle opening TA, is explained. When a part for opening of a throttle valve 24 is assumed to be a kind of orifice, the amount (throttle-valve through put mt) of the fluid which passes this orifice is expressed by each following formula (25) and (26) as everyone knows.

[0058]

[Equation 18]

$$m_t = \mu \cdot A_t \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T_{ha}}} \cdot \Phi(P_m, P_a) \quad \dots(25)$$

$$\Phi(P_m, P_a) = \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{2\kappa}{\kappa+1}\right) \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}} & \frac{P_m}{P_a} \leq \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \\ \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \left\{ \left(\frac{P_m}{P_a}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_m}{P_a}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right\}} & \frac{P_m}{P_a} > \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \end{cases} \quad \dots(26)$$

Here, "mu" is the flow coefficient of an orifice (a part for opening of a throttle valve 24), and "Pa" is atmospheric

pressure (constant value). Moreover, "At" is the effective-area product of a throttle valve 24, and can ask for this uniquely from the throttle opening TA.

[0059] Here, if the time of steady operation by which the throttle opening TA is held uniformly is assumed, a formula (25) will become like the following formula (27).

[0060]

[Equation 19]

$$m_{tTA} = \mu \cdot A_t \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T_{ha}}} \cdot \Phi(P_{mTA}, P_a) \quad \dots(27)$$

Here, "mtTA" and "PmTA" show the throttle-valve through put mt at the time of steady operation, and the downstream intake pressure Pm, respectively. The throttle-valve through put mtTA at the time of these steady operations and the downstream intake pressure PmTA can be determined as the flow of the inhalation air in the portion from the upstream portion 27 to a combustion chamber 29 at the affecting engine control parameter, i.e., here, based on the throttle opening TA, the engine rotational frequency NE, and valve timing VT. The relation between the throttle-valve through put mtTA at the time of these steady operations or the downstream intake pressure PmTA, the throttle opening TA and the engine rotational frequency NE, and valve timing VT is beforehand called for by experiment, and is memorized by the memory 32 of an arithmetic unit 30 as a function map.

[0061] If this formula (27) is used, a formula (25) can be expressed like the following formula (28).

[0062]

[Equation 20]

$$m_t = m_{tTA} \cdot \frac{\Phi(P_m, P_a)}{\Phi(P_{mTA}, P_a)} \quad \dots(28)$$

Furthermore, if it is at the time of steady operation, since the throttle-valve through put mtTA and the inhalation air content mc in a cylinder become equal (mtTA=mc) and the downstream intake-air temperature Tm and the upstream intake-air temperature Tha become equal (Tm=Tha), the above-mentioned formula (14) can be expressed like the following formula (29).

[0063]

[Equation 21]

$$m_{tTA} = \frac{T_0}{T_{ha}} \cdot (a \cdot P_{mTA} - b) \quad \dots(29)$$

And if this formula (29) is used, the above-mentioned formula (28) can be expressed still like the following formula (30).

[0064]

[Equation 22]

$$m_t = \frac{T_0}{T_{ha}} \cdot (a \cdot P_{mTA} - b) \cdot \frac{\Phi(P_m, P_a)}{\Phi(P_{mTA}, P_a)} \quad \dots(30)$$

The throttle-valve through put mt can be presumed based on the value PmTA of the downstream intake pressure Pm when assuming that it is at the upstream intake-air temperature [ in this time ] Tha and downstream intake-pressure Pm, atmospheric pressure Pa, and steady operation time (TA, NE, VT) so that clearly from this formula (30).

[0065] It is made to predict the inhalation air content mc in a cylinder after a predetermined period to be the throttle-valve through put mt calculated based on each option in this way from this time with this operation form based on each formula (14) - (17) mentioned above. In addition, in the following explanation, the throttle-valve through put mt asked for the throttle-valve through put mt calculated based on engine operational status, such as the throttle opening TA, based on the detecting signal of the throttle-valve through-put estimate mt1 and an air flow meter 41 is distinguished as throttle-valve through-put measured value mt2.

[0066] Next, drawing 3 and drawing 4 are combined, referred to and explained about the detail of the prediction processing by the equipment of this operation form. Drawing 3 and drawing 4 are flow charts which show an example of the procedure at the time of predicting the inhalation air content mc in a cylinder. This processing of a series of is performed with an arithmetic unit 30 the interruption period (every [ For example, " ] 8msec.") for every predetermined time.

[0067] On the occasion of this processing, the prediction period tfwd at the time of predicting an inhalation air content is set up first (Step 100). This prediction period tfwd will be the fuel oil consumption in the last fuel injection, and a thing

set up according to fuel injection duration, if it puts in another way. Therefore, the inhalation air content  $m_c$  in a cylinder after the time which the last fuel injection took from this time passes will be predicted here. Incidentally, this fuel injection duration is computed through processing concerning fuel injection with this another processing. Moreover, in processing concerning this fuel injection, fuel oil consumption is computed based on the newest inhalation air content  $m_c$  in a cylinder computed through this processing.

[0068] next, the downstream intake pressure  $P_m$  after [ this time to ] the prediction period  $t_{fwd}$ , the downstream intake-air temperatures  $T_m$ , and those ratios --  $P_m/T_m$  is computed based on the aforementioned throttle-valve through-put estimate  $mt1$  (Step 200) In addition, the downstream intake pressure  $P_m$  after the prediction period  $t_{fwd}$  computed below based on the throttle-valve through-put estimate  $mt1$  the downstream intake-air temperatures  $T_m$  and those ratios --  $P_m/T_m$  with " $P_{m1}t_{fwd}$ ", " $T_{m1}t_{fwd}$ ", and " $P_{m1}t_{fwd}/T_{m1}t_{fwd}$ ", respectively moreover, the downstream intake pressure  $P_m$  in the middle of the calculation, the downstream intake-air temperatures  $T_m$ , and those ratios -- it writes " $P_{m1}(i)$ ", " $T_{m1}(i)$ ", and " $P_{m1}/T_{m1}(i)$ ", respectively [  $P_m/T_m$  ]

[0069] On the occasion of calculation of this downstream intake-pressure  $P_{m1}t_{fwd}$  and downstream intake-air temperature  $T_{m1}t_{fwd}$ , processing only whose number of times of predetermined repeats the operation based on each above-mentioned formula (15) - (17) and a formula (30) is performed.

[0070] That is, as shown in drawing 4 , the increment of the counter value  $i$  showing the number of times of a loop of this processing (initial value : "0") is carried out first (Step 202), and it is judged whether next the prediction periods  $t_{fwd}$  are  $\Delta t_{at1}$  or more predetermined times (Step 204). Here, the above-mentioned predetermined time  $\Delta t_{at1}$  is set up equally (for example, "8msec.") to the interruption period of this routine. And when the prediction period  $t_{fwd}$  is judged to be these  $\Delta t_{at1}$  or more predetermined times (Step 204: YES), discrete interval  $\Delta t_{at}$  of each above-mentioned formula (15) and (16) is set up equally to a predetermined time  $\Delta t_{at1}$  (Step 206).

[0071] next, based on a formula (30), the throttle-valve through-put estimate  $mt1(i)$  computes -- having -- further -- after that and each formula (15) - (17) -- being based -- the downstream intake pressure  $P_{m1}(i)$ , the downstream intake-air temperatures  $T_{m1}(i)$ , and those ratios --  $P_{m1}(i)/T_{m1}(i)$  is computed, respectively (Step 208) And a predetermined time  $\Delta t_{at1}$  is subtracted from the present prediction period  $t_{fwd}$ , and the subtraction value ( $t_{fwd}-\Delta t_{at1}$ ) is set up as a new prediction period  $t_{fwd}$  (Step 210).

[0072] Next, when it is judged whether this new prediction period  $t_{fwd}$  is below "0" (Step 212) and this prediction period  $t_{fwd}$  is judged to be longer than "0" (Step 212: NO), processing after Step 202 is performed again. Under the present circumstances, if it is judged that the prediction period  $t_{fwd}$  is less than  $\Delta t_{at1}$  predetermined time in Step 204 (Step 204: NO), discrete interval  $\Delta t_{at}$  will be set up equally to the prediction period  $t_{fwd}$  (Step 207), and processing after Step 208 will be performed.

[0073] And by repeating processing of Steps 202-212 If the prediction period  $t_{fwd}$  becomes below "0" (Step 212: YES) the downstream intake pressure  $P_{m1}(i)$ , the downstream intake-air temperature  $T_{m1}(i)$ , and a ratio --  $P_{m1}/T_{m1}(i)$  of them downstream intake-pressure  $P_{m1}t_{fwd}$  after the prediction period  $t_{fwd}$ , downstream intake-air temperature  $T_{m1}t_{fwd}$ , and a ratio -- it is set up as  $P_{m1}t_{fwd}/T_{m1}t_{fwd}$ , respectively (Step 214)

[0074] For example, when the interruption period of this routine is "8msec." and the prediction period  $t_{fwd}$  is set as "30msec." through processing of previous Step 100, "Times [ 4 ]" Discrete interval  $\Delta t_{at}$  will be set up in order through processing of the above-mentioned step 204,206,207 in the mode "8msec." ->"8msec." ->"8msec." ->"6msec.", and processing to Step 202 - Step 212 will be repeated. and the downstream intake pressure  $P_{m1}(4)$  in case the counter value  $i$  is "4", the downstream intake-air temperatures  $T_{m1}(4)$ , and those ratios  $P_{m1}/T_{m1}(4)$  -- downstream intake-pressure  $P_{m1}t_{fwd}$  after [ this time to ] the prediction period  $t_{fwd}$ , downstream intake-air temperature  $T_{m1}t_{fwd}$ , and a ratio -- it will be set up as  $P_{m1}t_{fwd}/T_{m1}t_{fwd}$ , respectively

[0075] Then, while the counter value  $i$  was reset by "0", after discrete interval  $\Delta t_{at}$  is set up equally to the above-mentioned predetermined time  $\Delta t_{at1}$  (Step 216), processing is returned to Step 300 shown in drawing 3 .

[0076] At Step 300, the map operation value  $GA$  in this time ( $j$ ) and (it is hereafter written as " $GA(0)$ ") are computed based on the detecting signal of an air flow meter 41. Next, based on the map operation value  $GA$  in this this time (0), and the map operation value  $GA(j-1)$  (it is hereafter written as " $GA(-1)$ ") computed in the last interruption timing, the throttle-valve through-put measured value  $mt2$  in this time (0) is computed using a previous formula (24) (Step 400).

[0077] and this throttle-valve through-put measured value  $mt2(0)$  -- being based -- each previous formula (15) - (17) -- using -- the downstream intake pressure  $P_m$  after discrete interval  $\Delta t_{at}(i)$ , the downstream intake-air temperatures  $T_m(i)$ , and those ratios --  $P_m/T_m(i)$  is computed, respectively (Step 500) In addition, the downstream intake pressure  $P_m$  computed in this step 500 ( $i$ ) the downstream intake-air temperatures  $T_m(i)$  and those ratios -- the value computed to this interruption timing among  $P_m/T_m(i)$  with " $P_{m2}(1)$ ", " $T_{m2}(1)$ ", and " $P_{m2}/T_{m2}(1)$ ", respectively It writes " $P_{m2}(0)$ ", " $T_{m2}(0)$ ", and " $P_{m2}/T_{m2}(0)$ ", respectively. [ the value computed to the last interruption timing ]

[0078] each following formula (31), (32), and (33) -- being based -- the downstream intake pressure  $P_{m1}t_{fwd}$  after [ this

time to ] the prediction period  $t_{fwd}$ , the downstream intake-air temperatures  $T_{mtfwd}$ , and those ratios -- while  $P_{mtfwd}/T_{mtfwd}$  is computed, the inhalation air content  $m_{ctfwd}$  in a cylinder after the prediction period  $t_{fwd}$  is computed by being based on the formula (34) obtained from the above-mentioned formula (14) (Step 600) [ next, ] [0079]

[Equation 23]

$$P_{mtfwd} = P_{m1tfwd} - P_{m1(0)} + P_{m2(0)} \dots (31)$$

$$\frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}} = \frac{P_{m1tfwd}}{T_{m1tfwd}} - \frac{P_{m1(0)}}{T_{m1(0)}} + \frac{P_{m2(0)}}{T_{m2(0)}} \dots (32)$$

$$T_{mtfwd} = \frac{P_{mtfwd}}{\frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}}} \dots (33)$$

$$m_{ctfwd} = \frac{\frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}}}{\frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}}} \cdot T_o (a \cdot P_{mtfwd} - b) \dots (34)$$

In this way, after the inhalation air content  $m_{ctfwd}$  in a cylinder is computed, the initial value of data processing in next interruption timing is set up, respectively (Step 700).

[0080] Drawing 5 is a timing chart which shows the setting mode of such initial value. In this drawing, while engine operation is started in time  $t_1$ , this routine shall be started.

[0081] Initial value [ in / the interruption timing (time  $t_2$  and  $t_3$ ) of the 2nd henceforth / as shown in this drawing ], Namely, the downstream intake pressures [  $P_m / P_m(0)$  and / 2 ] 1 (0), the downstream intake-air temperature  $T_{m1}(0)$ ,  $T_{m2}(0)$ , these ratios  $P_{m1}/T_{m1}(0)$ ,  $P_{m2}/T_{m2}(0)$ , and the map operation value  $GA(-1)$  It is set up as follows using the value computed in the last interruption timing as the values ( $P_{m1}(1)$  etc.) or the value ( $GA(0)$ ) in this time after discrete interval  $\Delta t$ , respectively.

[0082]

[Equation 24]

$$P_{m1(0)} \leftarrow P_{m1(1)}$$

$$P_{m2(0)} \leftarrow P_{m2(1)}$$

$$T_{m1(0)} \leftarrow T_{m1(1)}$$

$$T_{m2(0)} \leftarrow T_{m2(1)}$$

$$\frac{P_{m1(0)}}{T_{m1(0)}} \leftarrow \frac{P_{m1(1)}}{T_{m1(1)}}$$

$$\frac{P_{m2(0)}}{T_{m2(0)}} \leftarrow \frac{P_{m2(1)}}{T_{m2(1)}}$$

$$GA(-1) \leftarrow GA(0)$$

On the other hand, about the initial value in the first interruption timing (time  $t_1$ ), it is set up as follows from the calculation value in the last interruption timing not existing.

[0083]

[Equation 25]

$$P_{m1(0)} \leftarrow P_a$$

$$P_{m2(0)} \leftarrow P_a$$

$$T_{m1(0)} \leftarrow T_{ha}$$

$$T_{m2(0)} \leftarrow T_{ha}$$

$$\frac{P_{m1(0)}}{T_{m1(0)}} \leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}}$$

$$\frac{P_{m2(0)}}{T_{m2(0)}} \leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}}$$

$$GA(-1) \leftarrow 0$$

Thus, after setting up each initial value in next interruption timing, processing of this routine is once ended.

[0084] As explained above, with this operation form, a fluid model is built based on the heat energy conservation law and mass conservation law about inhalation air of the downstream portion 28. The fluid model, Based on the throttle-

valve through put  $mt$ , the upstream intake-air temperature  $Tha$ , the downstream intake pressure  $Pm$ , and the downstream intake-air temperature  $Tm$ , the downstream intake pressure  $Pmtfwd$  after the prediction period  $tfwd$  and the downstream intake-air temperature  $Tmtfwd$  are presumed from this time. Furthermore, it is made to predict the inhalation air content  $mctfwd$  in a cylinder after the prediction period  $tfwd$  from this time based on them.

[0085] (1) Therefore, even if it was the case where the downstream intake-air temperature  $Tm$  changed from this time transitionally, when the transitional change has been grasped, the inhalation air content  $mc$  in a cylinder can be predicted, and a very accurate prediction result can be obtained now.

[0086] In case the fluid model of such inhalation air is built, the mass conservation law and heat energy conservation law about inhalation air of the downstream portion 28 (2) Moreover, a previous formula (12), It is made to presume the downstream intake pressure  $Pmtfwd$  after the prediction period  $tfwd$ , and the downstream intake-air temperature  $Tmtfwd$  from this time by a discrete formula's as shown in (13) expressing, and performing processing which repeats the operation based on these dispersion formula (12) and (13) the number of predetermined times. Therefore, the downstream intake pressure  $Pmtfwd$  required for prediction of the inhalation air content  $mctfwd$  in these cylinders and the downstream intake-air temperature  $Tmtfwd$  can be presumed now based on a comparatively easy algorithm.

[0087] (3) In case the above-mentioned repetitive operation is performed a predetermined interruption period, it is made to compute the downstream intake pressure  $Pm(0)$  and the downstream intake-air temperature  $Tm(0)$  in this time used to next interruption timing in this interruption timing furthermore. For this reason, not using the sensor for detecting the pressure and temperature in the downstream portion 28 etc., \*\* can also ask for these downstreams intake pressure  $Pm(0)$  and the downstream intake-air temperature  $Tm(0)$  serially through the above-mentioned repetitive operation, and can attain now simplification of the composition of inhalation air-content prediction equipment.

[0088] (4) By presuming the downstream intake-air temperature  $Tm$  in this time (0) especially, the need of generally using a general-purpose temperature sensor with low responsibility is lost, and the fall of the predictability resulting from the detection error of such a sensor can be avoided now.

[0089] Moreover, it is made to calculate the throttle-valve through-put estimate  $mt1$  presumed from engine operational status, such as the throttle opening  $TA$ , and the throttle-valve through-put measured value  $mt2$  computed based on the detecting signal of an air flow meter 41 as a throttle-valve through put  $mt$  with this operation gestalt, respectively.

[0090] Here, when the downstream intake pressures [  $Pm / Pm(i)$ ,  $Pm / 2 / (0)$ , and  $/ 2$  ] 1 (1) called for using these throttle-valves through-put estimate  $mt1$  and the throttle-valve through-put measured value  $mt2$  and the downstream intake-air temperature  $Tm1(i)$ ,  $Tm2(0)$ , and  $Tm2(1)$  compare with an actual intake pressure and an actual intake-air temperature, it is checked by experiment of this invention persons that there are the following inclinations.

[0091] That is, about the downstream intake pressure  $Pm1(i)$  called for using the throttle-valve through-put estimate  $mt1$ , the downstream intake-air temperatures  $Tm1(i)$ , and those ratios  $Pm1/Tm1(i)$ , there is an inclination for the time change to reflect correctly an actual time change of an intake pressure or an intake-air temperature especially. On the other hand, about the downstream intake pressures [  $Pm / Pm(0)$  and  $/ 2$  ] 2 (1) called for using the throttle-valve through-put measured value  $mt2$ , the downstream intake-air temperature  $Tm2(0)$ ,  $Tm(s)2(1)$  and those ratios  $Pm2/Tm2(0)$ , and  $Pm2/Tm2(1)$ , there is an inclination for it to be well in agreement with an intake pressure, an intake-air temperature, or the actual value of those ratios at the time of steady operation.

[0092] For this reason, if it is at the time of transient operation by computing the downstream intake pressure  $Pmtfwd$  after the final prediction period  $tfwd$ , and the downstream intake-air temperature  $Tmtfwd$  using each previous formula (31) - (33), while being able to make a time change of an actual intake pressure and an intake-air temperature reflect in the calculation correctly, it is at the time of steady operation, [0093]. [ i.e., ]

[Equation 26]

$$P_{mt1fwd} = P_{m1(0)}$$

$$\frac{P_{mt1fwd}}{T_{mt1fwd}} = \frac{P_{m1}}{T_{m1}}(0)$$

It is [0094] when \*\*\*\*\* (ing).

[Equation 27]

$$P_{mtfwd} = P_{m2(0)}$$

$$\frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}} = \frac{P_{m2}}{T_{m2}}(0)$$

From a bird clapper, the downstream intake pressure  $Pmtfwd$  and the downstream intake-air temperature  $Tmtfwd$  come to be called for only based on the throttle-valve through-put measured value  $mt2$ .

[0095] (5) therefore -- according to this operation gestalt -- the time of steady operation -- be -- the time of transient operation -- be -- the downstream intake pressure  $P_{mtfwd}$  after the prediction period  $t_{fwd}$  and the downstream intake-air temperature  $T_{mtfwd}$  can be correctly presumed from this time, as a result the inhalation air content  $m_{ctfwd}$  in a cylinder can be predicted more now to accuracy

[0096] (6) Furthermore, with this operation gestalt, since the thermal equilibrium model about the glass layer 414 of an air flow meter 41 is built and it is made to calculate the above-mentioned throttle-valve through-put measured value  $mt_2$  based on the reverse model, the response delay about the temperature change of this layer 414 can be foreseen beforehand, and it can ask for this. Therefore, the more exact throttle-valve through-put measured value  $mt_2$  can be calculated, and the downstream intake pressure  $P_{mtfwd}$  and the downstream intake-air temperature  $T_{mtfwd}$  can be presumed now still more correctly based on this.

[0097] The 2nd operation gestalt of this invention is explained focusing on difference with the 1st operation gestalt below [the 2nd operation gestalt].

[0098] With this operation gestalt, the point it is made to apply the inhalation air-content prediction equipment concerning this invention to the internal combustion engine equipped with an intake-pressure sensor as a sensor which detects an inhalation air content is different from the 1st operation gestalt. As shown in drawing 6, this intake-pressure sensor 46 is attached in the surge tank 22, and detects the pressure  $P_m$  of the inhalation air of the interior, i.e., a downstream intake pressure.

[0099] Next, the detail of the prediction processing by the equipment of this operation gestalt is explained. Drawing 7 is a flow chart which shows an example of the procedure at the time of predicting the inhalation air content  $m_c$  in a cylinder. This processing of a series of is performed with an arithmetic unit 30 the interruption period (every [ For example, " ] 8msec.") for every predetermined time. In addition, at Step 100 shown in this drawing 7, and Step 200, since the same processing as Step 100 and Steps 200-216 which are shown in previous drawing 3 and previous drawing 4 is performed, explanation of the content of processing is omitted.

[0100] After each processing of these steps 100,200 is performed, at Step 350, the downstream intake pressure  $P_m$  in this time (i) and (it is hereafter written as " $P_{m3}(0)$ ") are computed based on the detecting signal of the intake-pressure sensor 46. Next, the downstream intake pressure  $P_m$  detected in the downstream intake pressure  $P_m 3 (0)$  detected in this interruption timing, and the last interruption timing (i-1) (it is hereafter written as " $P_{m3}(-1)$ ") Based on the following formula (35) obtained from a previous formula (15), the throttle-valve through put (to namely, last interruption timing)  $mt (i-1)$  (henceforth "the throttle-valve through-put measured value  $mt_3 (-1)$ ") in front of discrete interval  $\Delta t$  is computed from this time (Step 450).

[0101]

[Equation 28]

$$m_{t3}(-1) = \frac{1}{T_{ha}} \left\{ \frac{P_{m3}(0) - P_{m3}(-1)}{\Delta t} \cdot \frac{V}{\kappa \cdot R} + T_o (a \cdot P_{m3}(0) - b) \right\} \cdots (35)$$

Further And this throttle-valve through-put measured value  $mt_3 (-1)$  and a previous formula (16), It is based on the following formula (36) obtained from (17), and (37). The downstream intake-air temperature  $T_m$  in this time (0) The ratios  $P_{m3}/T_{m3} (0)$  of (it being hereafter written as " $T_{m3}(0)$ "), and the downstream intake pressure  $P_m 3 (0)$  and the downstream intake-air temperature  $T_{m3} (0)$  are computed, respectively (Step 550).

[0102]

[Equation 29]

$$\frac{P_{m3}}{T_{m3}}(0) = \frac{P_{m3}}{T_{m3}}(-1) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot \left( m_{t3}(-1) - \frac{T_o}{T_{m3}(-1)} \cdot (a \cdot P_{m3}(-1) - b) \right) \cdots (36)$$

$$T_{m3}(0) = \frac{P_{m3}(0)}{\frac{P_{m3}}{T_{m3}}(0)} \cdots (37)$$

In addition, in the above-mentioned step 450 and Step 550, when computing the downstream intake-air temperature  $T_{m3} (0)$  etc. based on a formula (35) and (36), the value which the value into which the upstream intake-air temperature  $T_{ha}$  was read to the last interruption timing was used, and was set up based on the last engine rotational frequency  $NE$  and last valve timing  $VT$  in interruption timing about each constants  $a$  and  $b$  is used. Moreover, when this time is the first interruption timing, the value in this time [ intake-air temperature / upstream /  $T_{ha}$  ] and the value to which each constants  $a$  and  $b$  are set based on the engine rotational frequency  $NE (= "0")$  and valve timing  $VT$  at the time of an engine halt are used.

[0103] Next, the formula which replaced " $P_{m2} (0)$ " and " $P_{m2}/T_{m2} (0)$ " by " $P_{m3} (0)$ " and " $P_{m3}/T_{m3} (0)$ " in each



previous formula (31) and (32), respectively, each formula (33) and (34) -- using -- the downstream intake pressure  $P_{m\text{t}fwd}$  after [ this time to ] the prediction period  $t_{fwd}$ , the downstream intake-air temperatures  $T_{m\text{t}fwd}$ , and those ratios, while  $P_{m\text{t}fwd}/T_{m\text{t}fwd}$  is computed. The inhalation air content  $m_{c\text{t}fwd}$  in a cylinder after the prediction period  $t_{fwd}$  is computed (Step 650).

[0104] In this way, after the inhalation air content  $m_{c\text{t}fwd}$  in a cylinder is computed, the initial value of data processing in next interruption timing is set up, respectively (Step 750). Drawing 8 is a timing chart which shows the setting mode of such initial value. In this drawing, while engine operation is started in time  $t_1$ , this routine shall be started.

[0105] Initial value [ in / the interruption timing (time  $t_2$  and  $t_3$ ) of the 2nd henceforth / as shown in this drawing ], The downstream intake pressures [  $P_m / P_m(0)$  and / 3 (-1) ] 1, the downstream intake-air temperature  $T_{m1}(0)$ ,  $T_{m(s)3}(-1)$  and these ratios  $P_{m1}/T_{m1}(0)$ , and  $P_{m3}/T_{m3}(-1)$  [ namely, ] It is set up as follows using the values ( $P_{m3}(0)$ ,  $T_{m3}(0)$ , etc.) calculated in the last interruption timing as the values ( $P_{m1}(1)$  etc.) or the value in this time after discrete interval  $\Delta t$ , respectively.

[0106]

[Equation 30]

$$P_{m1}(0) \leftarrow P_{m1}(1)$$

$$P_{m3}(-1) \leftarrow P_{m3}(0)$$

$$T_{m1}(0) \leftarrow T_{m1}(1)$$

$$T_{m3}(-1) \leftarrow T_{m3}(0)$$

$$\frac{P_{m1}}{T_{m1}}(0) \leftarrow \frac{P_{m1}}{T_{m1}}(1)$$

$$\frac{P_{m3}}{T_{m3}}(-1) \leftarrow \frac{P_{m3}}{T_{m3}}(0)$$

$$P_{m3}(-1) \leftarrow P_{m3}(0)$$

On the other hand, about the initial value in the first interruption timing (time  $t_1$ ), it is set up as follows from the last calculation value or last detection value in interruption timing not existing.

[0107]

[Equation 31]

$$P_{m1}(0) \leftarrow P_a$$

$$P_{m3}(-1) \leftarrow P_a$$

$$T_{m1}(0) \leftarrow T_{ha}$$

$$T_{m3}(-1) \leftarrow T_{ha}$$

$$\frac{P_{m1}}{T_{m1}}(0) \leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}}$$

$$\frac{P_{m3}}{T_{m3}}(-1) \leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}}$$

$$P_{m3}(-1) \leftarrow P_a$$

Thus, after setting up each initial value in next interruption timing, processing of this routine is once ended.

[0108] Also in the 2nd operation gestalt explained above, the operation effect of an abbreviation EQC can be acquired about (1) indicated in the 1st operation gestalt, (2), and (4). moreover, about the operation effect of (3) indicated in the 1st operation gestalt, conversely [ of that for which the intake-pressure sensor 46 for detecting the downstream intake pressure  $P_m$  is needed separately ], since an air flow meter 41 does not need the sensor which becomes unnecessary and detects the downstream intake-air temperature  $T_m$  at least, at this point, simplification of the composition of inhalation air-content prediction equipment can be attained -- it becomes like

[0109] Furthermore, the downstream intake pressures [  $P_m / P_m(0)$  and / 3 ] 3 (1) called for based on the detecting signal of the intake-pressure sensor 46, the downstream intake-air temperature  $T_{m3}(0)$ ,  $T_{m(s)3}(1)$  and those ratios  $P_{m3}/T_{m3}(0)$ , and  $P_{m3}/T_{m3}(1)$  have the inclination for it to be well in agreement with an intake pressure, an intake-air temperature, or the actual value of those ratios at the time of steady operation. Therefore, the operation effect equivalent to (5) indicated in the 1st operation gestalt also according to this operation gestalt can be done so.

[0110] Each operation gestalt explained above can also change and carry out composition as follows.

- Although the estimate based on engine operational status, such as the throttle opening  $TA$ , and the actual measurement based on the detecting signal of an air flow meter 41 or the sensor of intake-pressure sensor 46 grade are calculated as an amount of the inhalation air which passes a throttle valve 24, respectively and the inhalation air content  $m_c$  in a

cylinder was predicted with each above-mentioned operation gestalt using each [ these ] value, based on either these estimate or an actual measurement, you may be made to perform this prediction.

[0111] - Although it was made to predict the inhalation air content  $m_c$  in a cylinder with each above-mentioned operation gestalt supposing the internal combustion engine 10 equipped with the mechanism in which the valve timing of an inlet valve 26 is changed, also in the internal combustion engine which is not equipped with this mechanism, the inhalation air content  $m_c$  in a cylinder can be predicted according to the same procedure.

[0112] - When the mechanism which controls the flow of the inhalation air of the inhalation-of-air path 20, for example, the swirl valve which controls the intensity of the swirl generated in a combustion chamber 29, performs the above-mentioned prediction again in the internal combustion engine formed in this inhalation-of-air path 20, set up the above-mentioned constants  $a$  and  $b$ , the downstream intake pressure  $P_{mTA}$  at the time of steady operation, and the throttle-valve through put  $m_{tTA}$  as a function of the controlled variables (for example, opening of a swirl valve etc.) of the above-mentioned mechanism.

[0113] - In prediction processing of each above-mentioned operation gestalt, although the empirical formula (14) which makes this air content  $m_c$  the function of the downstream intake-air temperature  $T_m$  and the downstream intake pressure  $P_m$  was used when calculating the inhalation air content  $m_c$  in a cylinder, the method of calculating this air content  $m_c$  is not limited to this.

[0114] - Although the downstream intake pressure  $P_m$  and the downstream intake-air temperature  $T_m$  were computed with each above-mentioned operation gestalt by dispersing each above-mentioned formula (8) obtained as a fluid model of inhalation air, and (9), and performing a loop operation, you may make it compute these downstreams intake pressure  $P_m$  and the downstream intake-air temperature  $T_m$  based on the operation expression which solved each [ these ] formula (8) and (9) analytically.

[0115] - Although the above-mentioned prediction period  $t_{fwd}$  was set as the value suitable for calculation of this fuel oil consumption with each above-mentioned operation gestalt that the inhalation air content  $m_c$  in a cylinder used for calculation of fuel oil consumption should be predicted, this prediction processing is applicable also to other engine control, such as ignition-timing control, by setting up the prediction period  $t_{fwd}$  suitably.

[0116] - Although the interruption period of a prediction manipulation routine shown in drawing 3 or drawing 7 and discrete interval  $\Delta t$  were equally set up with each above-mentioned operation gestalt, this discrete interval  $\Delta t$  can also be changed "1/2 of range which can determine initial value in next interruption timing, i.e., interruption period," twice etc., for example so that it may become  $1/n$  time ( $n$  : integer).

---

[Translation done.]

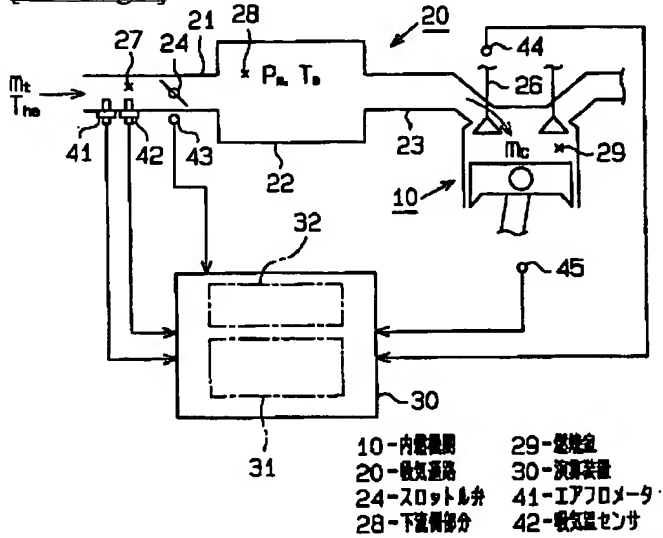
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

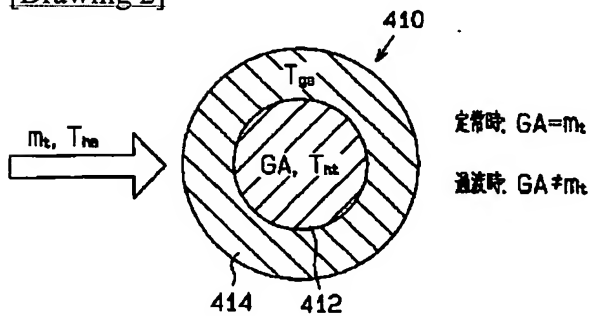
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

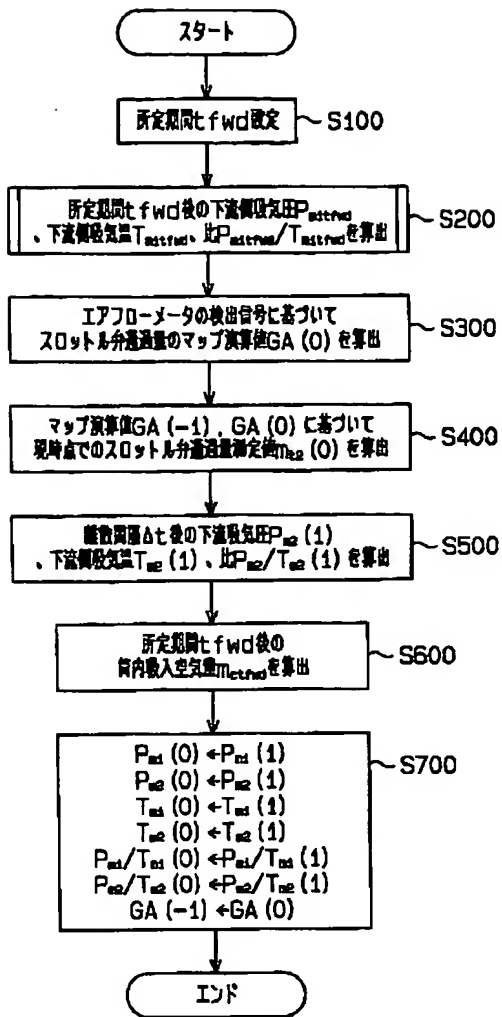
[Drawing 1]



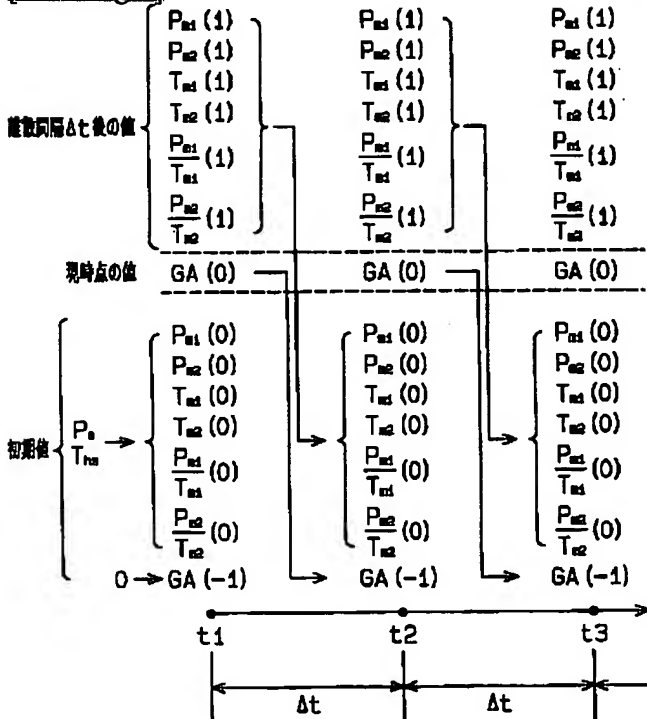
[Drawing 2]



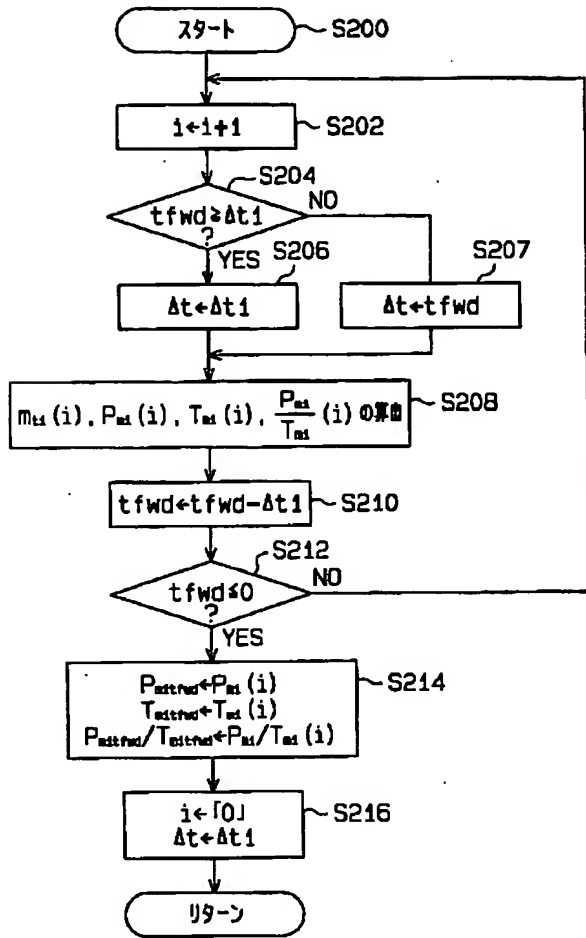
[Drawing 3]



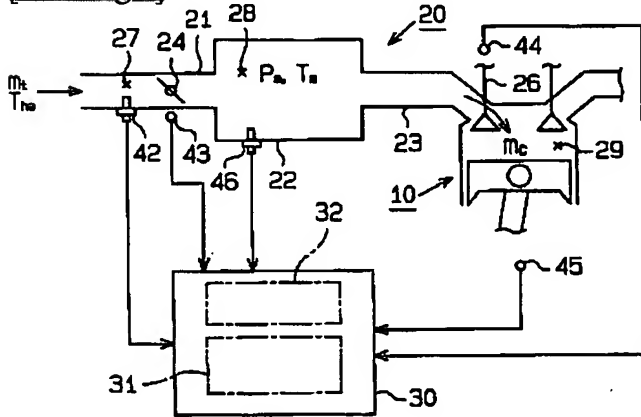
[Drawing 5]



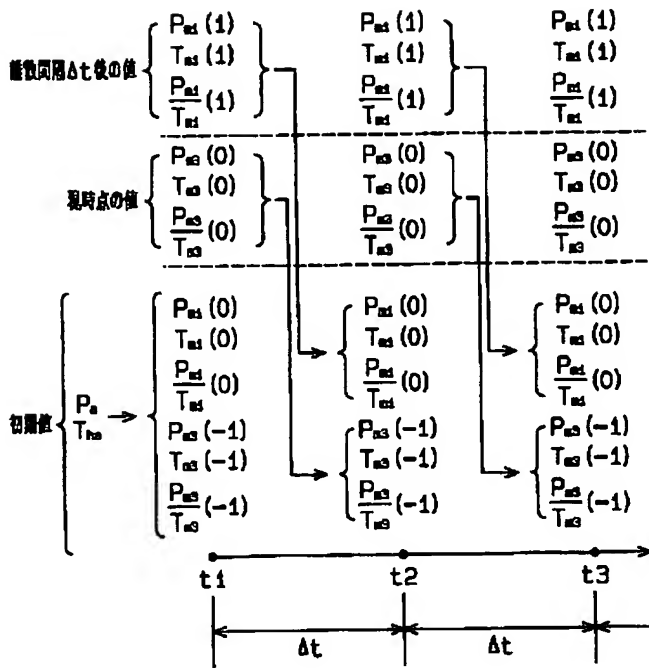
[Drawing 4]



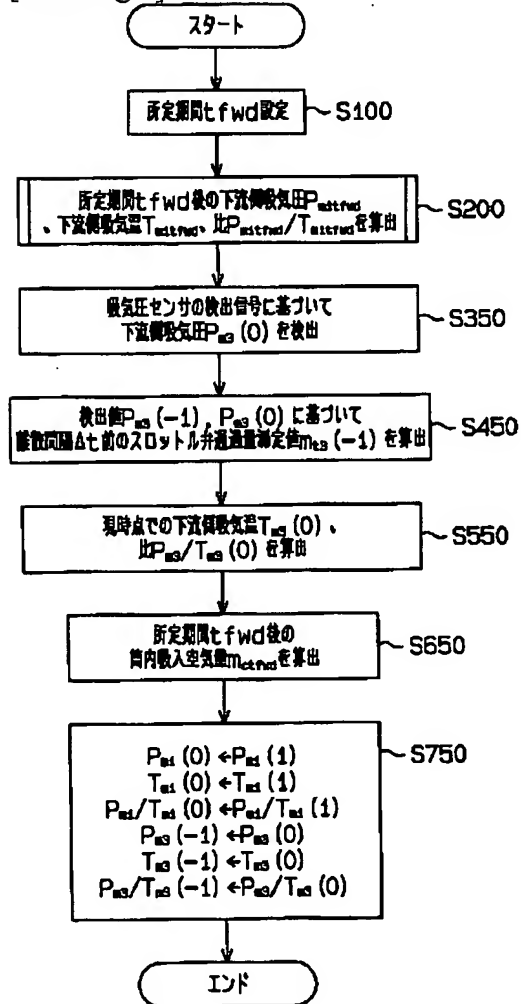
[Drawing 6]



[Drawing 8]



[Drawing 7]



---

[Translation done.]



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-41095

(P 2001-41095 A)

(43) 公開日 平成13年2月13日 (2001. 2. 13)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

F 0 2 D 45/00  
41/18

3 6 6

F 0 2 D 45/00  
41/18

3 6 6 Z 3G084  
F 3G301

審査請求 未請求 請求項の数 4

OL

(全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-215535

(22) 出願日 平成11年7月29日 (1999. 7. 29)

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 小林 大介

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72) 発明者 大島 明

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(74) 代理人 100068755

弁理士 恩田 博宣

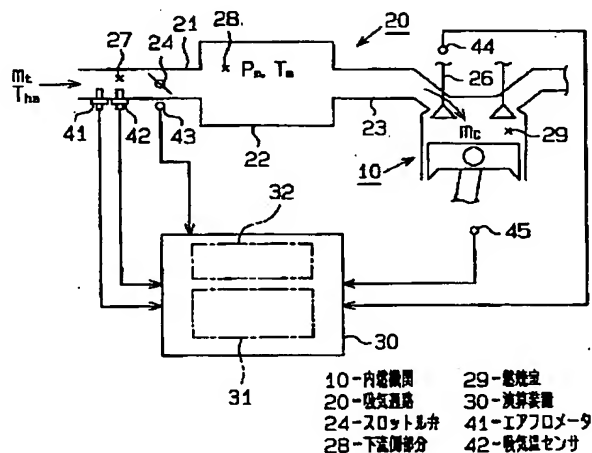
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の吸入空気量予測装置

(57) 【要約】

【課題】 吸入通路を通じて燃焼室内に導入される吸入空気量を機関運転状態によらず精度良く予測する。

【解決手段】 内燃機関 10 の演算装置 30 は、吸入通路 20 内の吸入空気に関する流体モデルと同吸入空気の現時点での温度情報とに基づいて吸入通路 20 のスロットル弁 24 よりも下流側の部分 28 に存在する吸入空気の現時点から所定期間後の温度を推定する。演算装置 30 は、その推定結果を反映しつつ現時点から所定期間後に下流側部分 28 から燃焼室 29 内に導入される吸入空気量を予測する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 燃焼室内に導入される吸入空気の量を吸入通路のスロットル弁により調節する内燃機関の吸入空気量予測装置において、

前記吸入通路内の吸入空気に関する流体モデルと同吸入空気の現時点での温度情報とに基づいて前記吸入通路の前記スロットル弁よりも下流側の部分に存在する吸入空気の現時点から所定期間後の温度を推定し該推定結果を反映しつつ現時点から所定期間後に前記下流側部分から前記燃焼室内に導入される吸入空気の量を予測する予測手段を備えることを特徴とする内燃機関の吸入空気量予測装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の内燃機関の吸入空気量予測装置において、

前記予測手段は、前記下流側部分の吸入空気に関する熱エネルギー保存則並びに質量保存則に基づき構築される流体モデルと、前記下流側部分に流入する吸入空気の現時点での量及び温度、並びに前記下流側部分の吸入空気の\*

\*現時点での圧力及び温度とに基づいて前記下流側部分の吸入空気の現時点から所定期間後の圧力及び温度を推定し、該推定される圧力及び温度に基づいて前記吸入空気量を予測するものであることを特徴とする内燃機関の吸入空気量予測装置。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の内燃機関の吸入空気量予測装置において、

前記予測手段は、前記下流側部分に流入する吸入空気の現時点での量を  $m_t(0)$  及び温度を  $T_{ha}$ 、前記下流側部分の吸入空気の現時点での圧力を  $P_m(0)$  及び温度を  $T_m(0)$ 、前記下流側部分から燃焼室に導入される吸入空気の量を  $m_c(i)$ 、空気の比熱比を  $\kappa$ 、気体定数を  $R$ 、前記下流側部分の容積を  $V$  としたとき、前記各保存則から得られる離散式 (1)、(2)、並びに前記吸入空気量  $m_c(i)$  と前記下流側部分の吸入空気の圧力  $P_m(i)$  及び温度  $T_m(i)$  との関係式 (3)

【数 1】

$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) \cdot T_{ha} - m_c(i-1) \cdot T_m(i-1)) \cdots (1)$$

$$\frac{P_m(i)}{T_m(i)} = \frac{P_m(i-1)}{T_m(i-1)} + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) - m_c(i-1)) \cdots (2)$$

$$m_c(i) = f(P_m(i), T_m(i)) \cdots (3)$$

$i = 1 \sim n$  の整数

$\Delta t$ : 離散間隔  $t_{fwd} = \sum_{i=1}^n (\Delta t(i))$

$f(P_m(i), T_m(i))$ :  $P_m(i), T_m(i)$  についての関数

に基づく演算を所定回数  $n$  だけ繰り返す処理を実行することにより、前記下流側部分の吸入空気の現時点から所定期間  $t_{fwd}$  後の圧力  $P_m(n)$  及び温度  $T_m(n)$  を推定するのであることを特徴とする内燃機関の吸入空気量予測装置。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の内燃機関の吸入空気量予測装置において、

前記予測手段は、前記一連の繰返処理を所定の割込周期毎に実行するものであって、今回の割込タイミングにおいて、次の割込タイミングでの繰返処理に用いられる前記下流側部分の吸入空気の現時点での圧力  $P_m(0)$  及び温度  $T_m(0)$  の少なくとも一方を算出するものであることを特徴とする内燃機関の吸入空気量予測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、機関燃焼室内に導入される吸入空気の量を予測する内燃機関の吸入空気量予測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 吸入通路を通じて内燃機関の燃焼室に導入される空気の量（吸入空気量）は、機関回転数とともに機関運転状態を最も反映するものとして、燃料噴射制

御や点火時期制御といった内燃機関の制御量を決定する際に用いられており、通常、これは吸入通路に設けられたエアフローメータや吸気圧センサからの検出信号に基づいて求められる。

【0003】 ところで、吸入空気量に基づいて内燃機関の制御量を算出するに際し、エアフローメータ等の検出信号から求められる現時点での吸入空気量をそのまま用いるようにすると、過渡運転時にあってはその制御量が機関制御に実際に反映される時点とは異なる吸入空気量に基づいて同制御量が決定されるようになる。このように制御量の決定に用いた吸入空気量と、その制御量が機関制御に反映されるとき吸入空気量とが異なっていると、実際の機関運転状態に即した制御を行うことができず、その制御精度を高めるにしても自ずと限界が生じるようになる。

【0004】 そこで、特開平 2-42160 号公報に記載されるように、現時点から所定期間後の吸入空気量を予測し、その予測値に基づいて制御量を決定するようにした装置が従来より提案されている。こうした予測を行うことで、制御量が機関制御に反映される際の吸入空気量を予め見越して同制御量を決定することができるようになり、制御精度の向上が図られるようになる。

【0005】また、吸入空気量は、機関回転数やスロットル弁の開度の他、吸気温によっても変化する。例えば、吸気温が低くなるほど吸入空気の密度が大きくなるため、吸入空気量も増大するようになる。従って、上記のように吸入空気量を予測する際には、こうした吸気温の影響を考慮することも精度良い予測結果を得る上で重要になる。

【0006】この点、上記装置では、吸気通路のスロットル弁よりも上流側の位置での吸気温を検出し、その吸気温（以下、吸気通路の他の位置での吸気温と特に区別する必要がある場合には、これを「上流側吸気温」という）を吸入空気量の予測に反映させるようにしている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の装置は、吸入空気量の予測に吸気温を反映させているとはいえ、あくまでもそれは、吸気通路内において吸気温の位置的な変化及びその時間的な変化が予測期間中に生じないことを前提条件としてその予測を行うものではない。

【0008】確かに、スロットル弁の開度が一定に保持される定常運転時にあっては、こうした吸気通路内における吸気温の位置的な変化は殆ど無く、また時間的な吸気温の変化も無視できる範囲にあるため、上記前提条件のもとで吸入空気量の予測をしたとしても、即ち前述した上流側吸気温のみに基づき吸入空気量の予測をしたとしても、その予測結果に大きな誤差が生じることはない。

【0009】ところが、過渡運転時においてスロットル弁の開度が急激に変化する場合にあっては、吸気温が吸気通路内の位置に応じて異なるようになり、またその時間的な変化も大きく無視できないものとなる。従って、上記前提条件はこうした吸気通路内における吸入空気の実際の温度状態に沿わないものとなる。

【0010】例えば、スロットル弁の開度が増大することにより、同弁の下流側部分に流入する吸入空気量が急激に増大した場合、同下流側部分の吸入空気が圧縮された状態になり、その温度（以下、「下流側吸気温」という）は前述した上流側吸気温よりも一時的に上昇するようになる。一方、スロットル弁の開度が減少することにより、前記下流側部分に流入する吸入空気量が急激に減少した場合には逆に、同下流側部分の吸入空気が膨張した状態になるため、下流側吸気温が上流側吸気温よりも一時的に低下するようになる。

【0011】このようにスロットル弁の開度が変化する過渡運転時にあっては、一時的にせよ、下流側吸気温が時間的に大きく変動して上流側吸気温と異なる温度になり得る。その結果、吸気通路内において吸気温の位置的及び時間的な変化が生じないことを前提条件として予測を行う従来の装置にあっては、こうした過渡運転時における吸気温のいわば動的な挙動による影響が吸入空気量

の予測に反映されることはなく、従ってその予測結果の誤差も無視できないものとなる。

【0012】この発明はこうした実情に鑑みてなされたものであり、その目的は吸気通路を通じて燃焼室内に導入される吸入空気量を、過渡運転時であっても精度良く予測することのできる内燃機関の吸入空気量予測装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための手段及びその作用効果について以下に記載する。請求項1に記載した発明は、燃焼室内に導入される吸入空気量を吸気通路のスロットル弁により調節する内燃機関の吸入空気量予測装置において、前記吸気通路内の吸入空気に関する流体モデルと同吸入空気の現時点での温度情報とに基づいて前記吸気通路の前記スロットル弁よりも下流側の部分に存在する吸入空気の現時点から所定期間後の温度を推定し該推定結果を反映しつつ現時点から所定期間後に前記下流側部分から前記燃焼室内に導入される吸入空気量を予測する予測手段を備えるようにしている。

【0014】上記構成において、予測手段は、吸気通路内の吸入空気に関する流体モデルと同吸入空気の現時点での温度情報（温度や温度変化の態様等、或いはこれらと相関を有する物理量）とに基づいて前記下流側部分の吸入空気の温度を推定し、その推定結果を吸入空気量の予測に反映させる。従って、この下流側部分の温度が現時点から過渡的に変化する場合であっても、その過渡的な変化を把握した上で吸入空気量を予測することができ、極めて精度の良い予測結果を得ることができる。

【0015】また、吸気通路を通じて燃焼室に導入される吸入空気量は、上記下流側部分の吸入空気の圧力が高くなるほど、またその温度が低くなるほど多くなる傾向があるため、これを上記圧力及び温度に基づいて求めることができる。従って、下流側部分の吸入空気の現時点から所定期間後の圧力及び温度を推定することにより、それら推定される圧力及び温度に基づいて現時点から所定期間後に燃焼室に導入される吸入空気量を予測することができるようになる。

【0016】更に、この下流側部分の吸入空気の現時点から所定期間後の圧力及び温度は、これらを、下流側部分の吸入空気についての熱エネルギー保存則並びに質量保存則に基づいて、下流側部分に流入する吸入空気の現時点での量及び温度、並びにその下流側部分の現時点での吸入空気の圧力及び温度といった物理量と関連付けることにより推定することができる。

【0017】従って、請求項1に記載した発明をより具体化した構成として、請求項2に記載した発明のように、上記吸入空気量予測装置において、前記予測手段は、前記下流側部分の吸入空気に関する熱エネルギー保存

則並びに質量保存則に基づき構築される流体モデルと、前記下流側部分に流入する吸入空気の時時点での量及び温度、並びに前記下流側部分の吸入空気の時時点での圧力及び温度とに基づいて前記下流側部分の吸入空気の時時点から所定期間後の圧力及び温度を推定し、該推定される圧力及び温度に基づいて前記吸入空気量を予測するものである、といった構成を採用することができる。

【0018】また、請求項3に記載した発明は、請求項2に記載の内燃機関の吸入空気量予測装置において、前記予測手段は、前記下流側部分に流入する吸入空気の現\*10

$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) \cdot T_{ha} - m_c(i-1) \cdot T_m(i-1)) \cdots (1)$$

$$\frac{P_m(i)}{T_m(i)} = \frac{P_m(i-1)}{T_m(i-1)} + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) - m_c(i-1)) \cdots (2)$$

$$m_c(i) = f(P_m(i), T_m(i)) \cdots (3)$$

$i = 1 \sim n$ の整数

$$\Delta t: \text{離散間隔 } tfwd = \sum_{i=1}^n (\Delta t(i))$$

$f(P_m(i), T_m(i))$ :  $P_m(i), T_m(i)$ についての関数

に基づく演算を所定回数  $n$  だけ繰り返す処理を実行することにより、前記下流側部分の吸入空気の時時点から所定期間  $tfwd$  後の圧力  $P_m(n)$  及び温度  $T_m(n)$  を推定するものであるとしている。

【0020】上記構成によれば、前記流体モデルが上記各式(1)、(2)に示されるように離散化されて表現されているため、前記下流側部分の吸入空気の時時点から所定期間後の圧力  $P_m(n)$  及び温度  $T_m(n)$  を比較的簡単なアルゴリズムに基づいて推定することができるようになる。

【0021】また、こうした演算処理を行うにあたり、請求項4に記載した発明のように、請求項3に記載の内燃機関の吸入空気量予測装置において、前記予測手段は、前記一連の繰返処理を所定の割込周期毎に実行するものであって、今回の割込タイミングにおいて、次の割込タイミングでの繰返処理に用いられる前記下流側部分の吸入空気の時時点での圧力  $P_m(0)$  及び温度  $T_m(0)$  の少なくとも一方を算出するものである、といった構成を採用すれば、上記吸入空気の圧力  $P_m(0)$ 、或いはその温度  $T_m(0)$  をセンサ等を用いずとも上記繰返処理を通じて逐次求めることができ、吸入空気量予測装置の構成の簡略化を図ることができるようになる。

【0022】また、一般に、汎用の温度センサはその応答性が低いため、同センサを用いて吸入空気の温度  $T_m(0)$  を検出するようにした場合、同温度  $T_m(0)$  の変化を精度良く検出するのは難しく、その検出結果に誤差が生じるのは避けきれない。

【0023】この点、上記構成において、特に吸入空気量の温度  $T_m(0)$  を算出するようにすれば、構成の簡略化を図ることができるとともに、こうしたセンサの検出誤

\*時点での量を  $m_t(0)$  及び温度を  $T_{ha}$ 、前記下流側部分の吸入空気の時時点での圧力を  $P_m(0)$  及び温度を  $T_m(0)$ 、前記下流側部分から燃焼室に導入される吸入空気の量を  $m_c(i)$ 、空気の比熱比を  $\kappa$ 、気体定数を  $R$ 、前記下流側部分の容積を  $V$  としたとき、前記各保存則から得られる離散式(1)、(2)、並びに前記吸入空気量  $m_c(i)$  と前記下流側部分の吸入空気の圧力  $P_m(i)$  及び温度  $T_m(i)$  との関係式(3)

【0019】

【数2】

差に起因する予測精度の低下を回避することができるようになる。

【0024】

【発明の実施の形態】〔第1の実施形態〕以下、本発明の第1の実施形態について説明する。

【0025】本実施形態では、吸入空気量を検出するセンサとしてエアフローメータを備える内燃機関に本発明に係る吸入空気量予測装置を適用するようにしている。はじめに、図1を参照して、この内燃機関10の概要と

30

同予測装置の構成について説明する。  
【0026】内燃機関10の吸気通路20は、スロットル弁24が設けられたスロットルボディ21の内部通路、このスロットルボディ21の下流側に接続されたサージタンク22、及び同サージタンク22と燃焼室29とを接続する吸気ポート23等により構成されている。吸気通路20を流れる吸入空気は、スロットル弁24によって調量された後、吸気弁26の開弁時に燃焼室29内に導入される。

40

【0027】吸入空気量予測装置は、現時点から所定期間後に燃焼室29内に導入される吸入空気の量を予測するものであり、大きくは、演算装置30とエアフローメータ41をはじめとする各種センサ41~45とによって構成されている。

【0028】演算装置30は、演算処理を実行する演算部31と、こうした演算処理に係るプログラムやその実行に際して用いられる各種関数データが記憶されたメモリ32とを備えている。この演算装置30は、例えば、内燃機関10の各種制御を実行する電子制御装置によって構成される。

【0029】センサ41~45には、上記エアフローメ

50

ータ 41 の他、吸気温センサ 42、スロットルセンサ 43、カム角センサ 44、及びクランク角センサ 45 等が含まれる。エアフローメータ 41、吸気温センサ 42 はいずれも、吸気通路 20 においてスロットル弁 24 より上流側の部分に設けられており、同弁 24 を介してサージタンク 22 内に流入する吸入空気のとと温度（以下、「上流側吸気温  $T_{ha}$ 」という）をそれぞれ検出する。

【0030】また、本実施形態では、上記エアフローメータ 41 として、熱線からなる検出部 410 を備えた熱線式のものが用いられている。図 2 は、この検出部 410 の断面構造を示している。同図に示すように、この検出部 410 は、例えば白金等からなる熱線 412 と、同熱線 412 の周囲を被覆するガラス層 414 とによって構成されている。

【0031】スロットルセンサ 43 は、スロットル弁 24 の近傍に設けられており、同弁 24 の開度（スロットル開度  $T_A$ ）を検出する。カム角センサ 44 は、吸気弁 26 を開閉駆動するカムシャフト（図示略）の近傍に、クランク角センサ 45 は、このカムシャフトを回転駆動するクランクシャフト（図示略）の近傍にそれぞれ設けられている。演算装置 30 は、これらカム角センサ 44 及びクランク角センサ 45 の出力信号を取り込み、クランクシャフトの回転速度（機関回転数  $NE$ ）及びその回転位相（クランク角  $CA$ ）並びに吸気弁 26 の開閉時期（バルブタイミング  $VT$ ）をそれぞれ検出する。尚、本実施形態の内燃機関 10 には、上記吸気弁 26 の開閉時期を機関回転数  $NE$  や機関負荷等の機関運転状態に基づいて変更する機構（図示略）が設けられている。従って、上記バルブタイミング  $VT$  も機関運転状態に応じて適宜変更されることとなる。

【0032】次に、こうした本実施形態の装置による吸入空気量の予測処理について説明する。はじめにこの予測処理の前提となる原理について説明する。

【0033】まず、吸気通路 20 から燃焼室 29 までの空間を、スロットル弁 24 より上流側の部分（以下、「上流側部分」という）27、同スロットル弁 24 より下流側で吸気弁 26 よりも上流側の部分（以下、「下流側部分」という）28、及び燃焼室 29 といった 3 つの部分に分け、これら各部分 27～29 のうち下流側部分 28 に存在する吸入空気についての流体モデルを構築する。

【0034】即ち、この下流側部分 28 に存在する吸入空気の質量を「 $M$ 」、同下流側部分 28 から燃焼室 29 内に時間当たりに流出する吸入空気のとと（以下、「筒内吸入空気量」という）を「 $m_c$ 」、上流側部分 27 から下流側部分 28 に流入する吸入空気のとと（以下、「スロットル弁通過量」という）を「 $m_t$ 」とすると、上記質量  $M$  の時間当たりの変化量  $d(M)/dt$  は質量保存則に基づいて次式（5）のように表すことができる。

【0035】

【数 3】

$$\frac{d}{dt} M = m_t - m_c \quad \cdots (5)$$

一方、下流側部分 28 に存在する吸入空気の温度（以下、「下流側吸気温」という）を「 $T_m$ 」、その等容比熱及び等圧比熱をそれぞれ「 $C_v$ 」、「 $C_p$ 」とすると、同吸入空気の有する熱エネルギーは「 $C_v \cdot M \cdot T_m$ 」となる。また、上流側部分 27 から下流側部分 28 に流入する吸入空気の有する熱エネルギーが「 $C_p \cdot m_t \cdot T_{ha}$ 」、下流側部分 28 から燃焼室 29 に流出する吸入空気の有する熱エネルギーが「 $C_p \cdot m_c \cdot T_m$ 」であることから、上記熱エネルギー  $C_v \cdot M \cdot T_m$  の時間当たりの変化量  $d(C_v \cdot M \cdot T_m)/dt$  は熱エネルギー保存則に基づいて次式（6）のように表すことができる。

【0036】

【数 4】

$$\frac{d}{dt} (C_v \cdot M \cdot T_m) = C_p \cdot m_t \cdot T_{ha} - C_p \cdot m_c \cdot T_m \quad \cdots (6)$$

また、下流側部分 28 に存在する吸入空気についての状態方程式は、下流側部分 28 の容積を「 $V$ 」、同部分 28 での吸入空気の圧力（以下、「下流側吸気圧」という）を「 $P_m$ 」、気体定数を「 $R$ 」とすると、次の式（7）のようになる。

【0037】

【数 5】

$$P_m \cdot V = M \cdot R \cdot T_m \quad \cdots (7)$$

ここで、空気の比熱比を「 $\kappa$ 」（ $=C_p/C_v$ ）とすると、上記式（7）を用いて式（5）は以下の式（9）、式（6）は以下の式（8）のように表すことができる。

【0038】

【数 6】

$$\frac{d}{dt} P_m = \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t \cdot T_{ha} - m_c \cdot T_m) \quad \cdots (8)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{P_m}{T_m} \right) = \frac{R}{V} \cdot (m_t - m_c) \quad \cdots (9)$$

更に、これら各式（8）、（9）の左辺は、離散間隔を「 $\Delta t$ 」とすると次式（10）、（11）のように表すことができる。

【0039】

【数 7】

$$\frac{d}{dt} P_m = \frac{P_m^{(i)} - P_m^{(i-1)}}{\Delta t} \quad \cdots (10)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{P_m}{T_m} \right) = \frac{\frac{P_m}{T_m}^{(i)} - \frac{P_m}{T_m}^{(i-1)}}{\Delta t} \quad \cdots (11)$$

従って、これら各式（8）～（11）から以下の離散式（12）、（13）が導き出される。尚、この式（12）、（13）において、括弧内の「 $i$ 」は今回値、「 $i-1$ 」は前回値をそれぞれ示す。

【0040】

\* \* 【数8】

$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) \cdot T_{ha} - m_c(i-1) \cdot T_m(i-1)) \quad \cdots(12)$$

$$\frac{P_m}{T_m}(i) = \frac{P_m}{T_m}(i-1) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) - m_c(i-1)) \quad \cdots(13)$$

一方、筒内吸入空気量 $m_c$ は、次の実験式(14)を用いて求めることができる。

【0041】

【数9】

$$m_c = \frac{T_0}{T_m} \cdot (a \cdot P_m - b) \quad \cdots(14)$$

上式(14)において、「a」、「b」はいずれも定数であり、下流側部分28から燃焼室29までの部分における吸入空気の流れに影響を与える機関制御パラメータ、即ちここでは、機関回転数NE及びバルブタイミングVTに基づいて設定される。これら定数a或いは定数※

※bと機関回転数NE及びバルブタイミングVTとの関係は予め実験により定められ、演算装置30のメモリ32に関数マップとして記憶されている。また、「 $T_0$ 」は、こうした実験により各定数a、bを設定したときの吸入空気の基準温度(定数)である。

【0042】この実験式(14)を用いると、上記各式(12)、(13)は、次の各式(15)、(16)のように変形することができる。

【0043】

【数10】

$$P_m(i) = P_m(i-1) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(i-1) \cdot T_{ha} - T_0 \cdot (a \cdot P_m(i-1) - b)) \quad \cdots(15)$$

$$\frac{P_m}{T_m}(i) = \frac{P_m}{T_m}(i-1) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot \left( m_t(i-1) - \frac{T_0}{T_m(i-1)} \cdot (a \cdot P_m(i-1) - b) \right) \quad \cdots(16)$$

また、下流側吸気温度 $T_m$ は、これら各式(15)、(16)から得られる以下の式(17)を用いて求めることができる。

【0044】

【数11】

$$T_m(i) = \frac{P_m(i)}{\frac{P_m(i)}{T_m(i)}} \quad \cdots(17)$$

これら各式(15)～(17)から明らかなように、現時点でのスロットル弁通過量 $m_t$ 、下流側吸気圧 $P_m$ 、下流側吸気温度 $T_m$ 、及び上流側吸気温度 $T_{ha}$ に基づいて、現時点から所定期間後、即ちここでは上記離散間隔 $\Delta t$ 後の下流側吸気圧 $P_m$ 及び下流側吸気温度 $T_m$ を推定することができ、更にこうして推定される下流側吸気圧 $P_m$ 及び下流側吸気温度 $T_m$ を式(14)に代入することにより、現時点から離散間隔 $\Delta t$ 後の筒内吸入空気量 $m_c$ を推定することができる。

【0045】また、本実施形態の予測処理では、上記スロットル弁通過量 $m_t$ を以下の異なる二つの方法に従って求めるようにしている。以下、このスロットル弁通過量 $m_t$ を求める際の方法について説明する。

【0046】まず、エアフローメータ41の検出信号に基づいてスロットル弁通過量 $m_t$ を求める際の手順について説明する。エアフローメータ41は、周知のように、熱線412の周囲を吸入空気が通過する際に同熱線412から奪われる熱量が吸入空気量に応じて変化するのを利用して同量を検出するものである。このエアフローメータ41の検出信号と吸入空気量との関係は予め実験によって定められ、演算装置30のメモリ32に

マップとして記憶されている。従って、エアフローメータ41の検出信号とこの関数マップとに基づいて吸入空気量を求めることができる。

【0047】しかしながら、上記ガラス層414は、熱線412と比較して一般に熱容量が大きいので、その温度 $T_{gs}$ は検出部410の近傍を通過する吸入空気量の増加に対して遅れて変化する傾向がある。このため、吸入空気量が変化しない定常運転時にあっては、上記関数マップから求められる吸入空気量は真の吸入空気量と一致するものの、同吸入空気量が変化する過渡運転時にあっては、関数マップから求められる吸入空気量が真の吸入空気量からずれるようになる。

【0048】そこで、本実施形態では、こうしたガラス層414の温度変化についての応答遅れを予め見越して真の吸入空気量を求めるために、同層414に関する熱平衡モデルを構築し、その逆モデルに基づいて吸入空気量を算出するようにしている。尚、以下の説明では、真の吸入空気量をスロットル弁通過量 $m_t$ とし、エアフローメータ41の検出信号と上記関数マップとに基づいて得られる吸入空気量をマップ演算値GAとして区別する。

【0049】まず、熱線412の温度を「 $T_{ht}$ 」とする(図2参照)、熱線412からガラス層414に伝達される熱量と、同層414から吸入空気中に伝達される熱量との釣り合いから、ガラス層414の温度 $T_{gs}$ の変化量 $d(T_{gs})/dt$ は、以下の式(18)のように表すことができる。

【0050】

【数12】

$$A \cdot \frac{d}{dt} T_{gs} = B \cdot (T_{ht} - T_{gs}) - (C + D \cdot \sqrt{m_t}) \cdot (T_{ht} - T_{ha}) \quad \cdots (18)$$

ここで、「A」、「B」、「C」、「D」は、熱線 412 の断面積、長さ、及びその抵抗率や、ガラス層 414 と熱線 412 との間の熱伝達率、ガラス層 414 と吸入空気との間の熱伝達率等々に応じて決定される定数である。

【0051】また、定常運転時には、ガラス層 414 と、熱線 412 及び吸入空気との間の熱の授受が無くなるため、次式 (19)、(20) に示すように、式 (18) の左辺、即ちガラス層 414 の温度変化量  $d(T_{gs})/dt$  は「0」になり、また、マップ演算値 GA とスロットル弁通過量  $m_t$  とは等しくなる。

【0052】

【数 13】

$$0 = B \cdot (T_{ht} - T_{gs}) - (C + D \cdot \sqrt{m_t}) \cdot (T_{ht} - T_{ha}) \quad \cdots (19)$$

$$GA = m_t \quad \cdots (20)$$

従って、上記各式 (19)、(20) から次の式 (21) が得られる。

【0053】

【数 14】

$$GA = \left(\frac{B}{D}\right)^2 \cdot \left\{ \frac{T_{ht} - T_{gs}}{T_{gs} - T_{ha}} - \frac{C}{B} \right\}^2 \quad \cdots (21)$$

更に、この式 (21) を用いて式 (18) を変形すると、ガラス層 414 の温度  $T_{gs}$  が消去された次式 (22) が得られる。

【0054】

【数 15】

$$\frac{d\sqrt{GA}}{dt} = \left( \frac{B+C}{A} + \frac{D}{A} \cdot \sqrt{GA} \right) \cdot (\sqrt{m_t} - \sqrt{GA}) \quad \cdots (22)$$

$$m_t = \mu \cdot A_t \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T_{ha}}} \cdot \Phi(P_m, P_a) \quad \cdots (25)$$

$$\Phi(P_m, P_a) = \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{2\kappa}{\kappa+1}\right) \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}} & \frac{P_m}{P_a} \leq \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \\ \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \left\{ \left(\frac{P_m}{P_a}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_m}{P_a}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right\}} & \frac{P_m}{P_a} > \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \end{cases} \quad \cdots (26)$$

ここで、「 $\mu$ 」はオリフィス (スロットル弁 24 の開口部分) の流量係数、「 $P_a$ 」は大気圧 (一定値) である。また、「 $A_t$ 」は、スロットル弁 24 の開口面積であり、これはスロットル開度 TA から一義的に求めることができる。

【0059】ここで、スロットル開度 TA が一定に保持される定常運転時を想定すると、式 (25) は次式 (27) のようになる。

また、この式 (22) の左辺は、離散間隔を「 $\Delta t$ 」とすると次式 (23) のように表すことができる。

【0055】

【数 16】

$$\frac{d\sqrt{GA}}{dt} = \frac{\sqrt{GA(j)} - \sqrt{GA(j-1)}}{\Delta t} \quad \cdots (23)$$

従って、上記各式 (22)、(23) から以下の離散式 (24) が導き出される。尚、この式 (24) において、「 $\alpha$ 」、「 $\beta$ 」は上記定数 A~D によって定まる定数であり、また、括弧内の「j」は今回値、「j-1」は前回値をそれぞれ示している。

【0056】

【数 17】

$$m_t(j) = \left\{ \sqrt{GA(j)} + \frac{\alpha}{\Delta t} \cdot \frac{\sqrt{GA(j)} - \sqrt{GA(j-1)}}{\beta + \sqrt{GA(j)}} \right\}^2 \quad \cdots (24)$$

この式 (24) から明らかなように、現時点でのスロットル弁通過量  $m_t(j)$  は、現時点でのマップ演算値 GA(j) と、離散間隔  $\Delta t$  前のマップ演算値 GA(j-1) とに基づいて推定することができる。

【0057】次に、スロットル開度 TA 等の機関運転状態に基づいてスロットル弁通過量  $m_t$  を求める際の手順について説明する。スロットル弁 24 の開口部分を一種のオリフィスと仮定すると、同オリフィスを通る流体の量 (スロットル弁通過量  $m_t$ ) は、周知のように次の各式 (25)、(26) によって表される。

【0058】

【数 18】

【0060】

【数 19】

$$m_{tTA} = \mu \cdot A_t \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T_{ha}}} \cdot \Phi(P_{mTA}, P_a) \quad \cdots (27)$$

ここで、「 $m_{tTA}$ 」、「 $P_{mTA}$ 」は、定常運転時におけるスロットル弁通過量  $m_t$ 、下流側吸気圧  $P_m$  をそれぞれ示している。これら定常運転時におけるスロットル弁通過量  $m_{tTA}$  及び下流側吸気圧  $P_{mTA}$  は、上流側部分 27 から



燃焼室 29 までの部分における吸入空気の流れに影響を与える機関制御パラメータ、即ちここでは、スロットル開度 TA、機関回転数 NE、及びバルブタイミング VT に基づいて決定することができる。これら定常運転時のスロットル弁通過量 mtTA 或いは下流側吸気圧 PmTA と、スロットル開度 TA、機関回転数 NE、及びバルブタイミング VT との関係は、予め実験によって求められ、演算装置 30 のメモリ 32 に関数マップとして記憶されている。

【0061】この式(27)を用いると、式(25)は 10 次式(28)のように表すことができる。

【0062】

【数20】

$$m_i = m_{iTA} \cdot \frac{\Phi(P_m, P_a)}{\Phi(P_{mTA}, P_a)} \quad \dots(28)$$

更に、定常運転時にあつては、スロットル弁通過量 mtTA と筒内吸入空気量 mc とが等しくなり (mtTA=mc)、また、下流側吸気温 Tm と上流側吸気温 Tha とが等しくなるため (Tm=Tha)、上記式(14)は次式(29)のように表すことができる。

【0063】

【数21】

$$m_{iTA} = \frac{T_0}{T_{ha}} \cdot (a \cdot P_{mTA} - b) \quad \dots(29)$$

そして、この式(29)を用いると、上記式(28)は更に次式(30)のように表すことができる。

【0064】

【数22】

$$m_i = \frac{T_0}{T_{ha}} \cdot (a \cdot P_{mTA} - b) \cdot \frac{\Phi(P_m, P_a)}{\Phi(P_{mTA}, P_a)} \quad \dots(30)$$

この式(30)から明らかなように、スロットル弁通過量 mt は、現時点での上流側吸気温 Tha 及び下流側吸気圧 Pm、大気圧 Pa、並びに定常運転時であると仮定したときの下流側吸気圧 Pm の値 PmTA (TA, NE, VT) に基づいて推定することができる。

【0065】本実施形態では、このように各別の方法に基づいて求められるスロットル弁通過量 mt と、前述した各式(14)～(17)とに基づいて現時点から所定期間後の筒内吸入空気量 mc を予測するようにしている。尚、以下の説明では、スロットル開度 TA 等の機関運転状態に基づいて求められるスロットル弁通過量 mt をスロットル弁通過量推定値 mt1、エアフローメータ 41 の検出信号に基づいて求められるスロットル弁通過量 mt をスロットル弁通過量測定値 mt2 として区別する。

【0066】次に、本実施形態の装置による予測処理の詳細について図3及び図4を併せ参照して説明する。図3及び図4は、筒内吸入空気量 mc を予測する際の手順の一例を示すフローチャートである。この一連の処理

は、演算装置 30 により所定時間毎の割込周期 (例えば「8msec.」毎) で実行される。

【0067】この処理に際しては、まず、吸入空気量を予測する際の予測期間 tfwd が設定される (ステップ 100)。この予測期間 tfwd は、前回の燃料噴射での燃料噴射量、換言すれば燃料噴射時間に応じて設定されるものである。従って、ここでは、現時点から前回の燃料噴射に要した時間が経過した後の筒内吸入空気量 mc が予測されることとなる。因みに、この燃料噴射時間は、この処理とは別の燃料噴射に係る処理を通じて算出されるものである。また、この燃料噴射に係る処理では、本処理を通じて算出される最新の筒内吸入空気量 mc に基づいて燃料噴射量が算出される。

【0068】次に、現時点から予測期間 tfwd 後の下流側吸気圧 Pm、下流側吸気温 Tm、及びそれらの比 Pm/Tm が前記スロットル弁通過量推定値 mt1 に基づいて算出される (ステップ 200)。尚、以下では、スロットル弁通過量推定値 mt1 に基づいて算出される予測期間 tfwd 後の下流側吸気圧 Pm、下流側吸気温 Tm、及びそれらの比 Pm/Tm をそれぞれ、「Pmltfwd」、「Tmltfwd」、「Pmltfwd/Tmltfwd」と、また、その算出途中での下流側吸気圧 Pm、下流側吸気温 Tm、及びそれらの比 Pm/Tm を、「Pml(i)」、「Tml(i)」、「Pml/Tml(i)」とそれぞれ表記する。

【0069】この下流側吸気圧 Pmltfwd 及び下流側吸気温 Tmltfwd の算出に際しては、上記各式(15)～(17)及び式(30)に基づく演算を所定回数だけ繰り返す処理が行われる。

【0070】即ち、図4に示すように、まず、この処理の繰返回数を表すカウンタ値 i (初期値:「0」) がインクリメントされ (ステップ 202)、次に予測期間 tfwd が所定時間 Δt1 以上であるか否かが判断される (ステップ 204)。ここで、上記所定時間 Δt1 は、本ルーチンの割込周期と等しく (例えば「8msec.」) 設定されている。そして、予測期間 tfwd がこの所定時間 Δt1 以上であると判断された場合 (ステップ 204: YES)、上記各式(15)、(16)の離散間隔 Δt が所定時間 Δt1 と等しく設定される (ステップ 206)。

【0071】次に、式(30)に基づいてスロットル弁通過量推定値 mt1(i) が算出され、更にその後、各式(15)～(17)に基づいて、下流側吸気圧 Pml(i)、下流側吸気温 Tml(i)、及びそれらの比 Pml(i)/Tml(i) がそれぞれ算出される (ステップ 208)。そして、現在の予測期間 tfwd から所定時間 Δt1 が減算され、その減算値 (tfwd - Δt1) が新たな予測期間 tfwd として設定される (ステップ 210)。

【0072】次に、この新たな予測期間 tfwd が「0」以下であるか否かが判断され (ステップ 212)、同予測期間 tfwd が「0」より長いと判断された場合 (ステップ 212: NO) には、ステップ 202 以降の処理が再度

実行される。この際、ステップ204において予測期間tfwdが所定時間Δt1未満であると判断されると（ステップ204：NO）、離散間隔Δtが予測期間tfwdと等しく設定されて（ステップ207）、ステップ208以降の処理が実行される。

【0073】そして、ステップ202～212の処理が繰り返されることにより、予測期間tfwdが「0」以下になると（ステップ212：YES）、下流側吸気圧Pm1(i)、下流側吸気温Tm1(i)、及び比それらのPm1/Tm1(i)が、予測期間tfwd後の下流側吸気圧Pmtfwd、下流側吸気温Tmtfwd、及び比Pmtfwd/Tmtfwdとしてそれぞれ設定される（ステップ214）。

【0074】例えば、本ルーチンの割込周期が「8msec.」であり、先のステップ100の処理を通じて予測期間tfwdが「30msec.」に設定された場合、離散間隔Δtは上記ステップ204、206、207の処理を通じて、「8msec.」→「8msec.」→「8msec.」→「6msec.」といった態様で順に設定され、ステップ202～ステップ212までの処理が「4回」繰り返されることとなる。そして、カウンタ値iが「4」であるときの下流側吸気圧Pm1(4)、下流側吸気温Tm1(4)、及びそれらの比Pm1/Tm1(4)が、現時点から予測期間tfwd後の下流側吸気圧Pmtfwd、下流側吸気温Tmtfwd、及び比Pmtfwd/Tmtfwdとしてそれぞれ設定されることとなる。

【0075】その後、カウンタ値iが「0」にリセットされるとともに、離散間隔Δtが上記所定時間Δt1と等しく設定された後（ステップ216）、処理は図3に示すステップ300に戻される。

【0076】ステップ300では、エアフローメータ41の検出信号に基づいて現時点でのマップ演算値GA(j)（以下、「GA(0)」と表記する）が算出される。次に、この現時点でのマップ演算値GA(0)と前回の割込タイミングにおいて算出されたマップ演算値GA(j-1)（以下、「GA(-1)」と表記する）とに基づき、先の式(24)を用いて現時点でのスロットル弁通過量測定値mt2(0)が算出される（ステップ400）。

【0077】そして、このスロットル弁通過量測定値mt2(0)に基づき、先の各式(15)～(17)を用いて離散間隔Δt後の下流側吸気圧Pm(i)、下流側吸気温Tm(i)、及びそれらの比Pm/Tm(i)がそれぞれ算出される（ステップ500）。尚、このステップ500において算出される下流側吸気圧Pm(i)、下流側吸気温Tm(i)、及びそれらの比Pm/Tm(i)のうち、今回の割込タイミングで算出される値をそれぞれ「Pm2(1)」、「Tm2(1)」、「Pm2/Tm2(1)」と、前回の割込タイミングで算出された値をそれぞれ「Pm2(0)」、「Tm2(0)」、「Pm2/Tm2(0)」と表記する。

【0078】次に、以下の各式(31)、(32)、

(33)に基づいて現時点から予測期間tfwd後の下流側

吸気圧Pmtfwd、下流側吸気温Tmtfwd、及びそれらの比Pmtfwd/Tmtfwdが算出されるとともに、上記式(14)から得られる式(34)に基づいて予測期間tfwd後における筒内吸入空気量mctfwdが算出される（ステップ600）。

【0079】

【数23】

$$P_{mtfwd} = P_{m1tfwd} - P_{m1(0)} + P_{m2(0)} \cdots (31)$$

$$\frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}} = \frac{P_{m1tfwd}}{T_{m1tfwd}} - \frac{P_{m1(0)}}{T_{m1(0)}} + \frac{P_{m2(0)}}{T_{m2(0)}} \cdots (32)$$

$$T_{mtfwd} = \frac{P_{mtfwd}}{\frac{P_{m1tfwd}}{T_{m1tfwd}}} \cdots (33)$$

$$m_{ctfwd} = \frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}} \cdot T_o (a \cdot P_{mtfwd} - b) \cdots (34)$$

こうして筒内吸入空気量mctfwdが算出された後、次の割込タイミングにおける演算処理の初期値がそれぞれ設定される（ステップ700）。

【0080】図5は、こうした初期値の設定態様を示すタイミングチャートである。同図では、時刻t1において機関運転が開始されるとともに、本ルーチンが開始されるものとする。

【0081】同図に示すように、2回目以降の割込タイミング（時刻t2、t3）における初期値、即ち下流側吸気圧Pm1(0)、Pm2(0)、下流側吸気温Tm1(0)、Tm2(0)、これらの比Pm1/Tm1(0)、Pm2/Tm2(0)、並びにマップ演算値GA(-1)は、前回の割込タイミングにおいて離散間隔Δt後の値（Pm1(1)等）或いは現時点での値（GA(0)）として算出された値を用いてそれぞれ以下のように設定される。

【0082】

【数24】

$$P_{m1(0)} \leftarrow P_{m1(1)}$$

$$P_{m2(0)} \leftarrow P_{m2(1)}$$

$$T_{m1(0)} \leftarrow T_{m1(1)}$$

$$T_{m2(0)} \leftarrow T_{m2(1)}$$

$$\frac{P_{m1(0)}}{T_{m1(0)}} \leftarrow \frac{P_{m1(1)}}{T_{m1(1)}}$$

$$\frac{P_{m2(0)}}{T_{m2(0)}} \leftarrow \frac{P_{m2(1)}}{T_{m2(1)}}$$

$$GA(-1) \leftarrow GA(0)$$

一方、最初の割込タイミング（時刻t1）における初期値については、前回の割込タイミングでの算出値が存在しないことから、以下のように設定される。

【0083】

【数25】

17

$$P_{m1}(0) \leftarrow P_a$$

$$P_{m2}(0) \leftarrow P_a$$

$$T_{m1}(0) \leftarrow T_{ha}$$

$$T_{m2}(0) \leftarrow T_{ha}$$

$$\frac{P_{m1}}{T_{m1}}(0) \leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}}$$

$$\frac{P_{m2}}{T_{m2}}(0) \leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}}$$

$$GA(-1) \leftarrow 0$$

このようにして次回の割込タイミングにおける各初期値を設定した後、本ルーチンの処理は一旦終了される。

【0084】以上説明したように、本実施形態では、下流側部分28の吸入空気に関する熱エネルギー保存則並びに質量保存則に基づいて流体モデルを構築し、その流体モデルと、スロットル弁通過量 $mt$ 及び上流側吸気温 $T_{ha}$ 、並びに下流側吸気圧 $P_m$ 及び下流側吸気温 $T_m$ に基づいて現時点から予測期間 $t_{fwd}$ 後の下流側吸気圧 $P_{mtfwd}$ 及び下流側吸気温 $T_{mtfwd}$ を推定し、更にそれらに基づいて現時点から予測期間 $t_{fwd}$ 後の筒内吸入空気量 $m_{ctfwd}$ を予測するようにしている。

【0085】(1) 従って、下流側吸気温 $T_m$ が現時点から過渡的に変化する場合であっても、その過渡的な変化を把握した上で筒内吸入空気量 $m_c$ を予測することができ、極めて精度の良い予測結果を得ることができるようになる。

【0086】(2) また、こうした吸入空気の流体モデルを構築する際に、下流側部分28の吸入空気に関する質量保存則及び熱エネルギー保存則を先の式(12)、

(13)に示されるような離散式によって表現し、これら離散式(12)、(13)に基づく演算を所定回数繰り返す処理を実行することにより、現時点から予測期間 $t_{fwd}$ 後の下流側吸気圧 $P_{mtfwd}$ 及び下流側吸気温 $T_{mtfwd}$ を推定するようにしている。従って、これら筒内吸入空気量 $m_{ctfwd}$ の予測に必要な下流側吸気圧 $P_{mtfwd}$ 及び下流側吸気温 $T_{mtfwd}$ を比較的簡単なアルゴリズムに基づいて推定することができるようになる。

【0087】(3) 更に、上記繰返処理を所定の割込周期で実行する際に、次回の割込タイミングで用いられる現時点での下流側吸気圧 $P_m(0)$ 及び下流側吸気温 $T_m(0)$ を今回の割込タイミングにおいて算出するようにしている。このため、下流側部分28内の圧力や温度を検出するためのセンサ等を用いずとも、これら下流側吸気圧 $P_m(0)$ 及び下流側吸気温 $T_m(0)$ を上記繰返処理を通じて逐次求めることができ、吸入空気量予測装置の構成の簡略化を図ることができるようになる。

【0088】(4) 特に、現時点での下流側吸気温 $T_m(0)$ を推定することにより、一般に応答性の低い汎用の温度センサを用いる必要が無く、こうしたセンサの検出誤差に起因する予測精度の低下を回避することができるようになる。

18

【0089】また、本実施形態では、スロットル弁通過量 $mt$ として、スロットル開度 $TA$ 等の機関運転状態から推定されるスロットル弁通過量推定値 $mt1$ と、エアフローメータ41の検出信号に基づいて算出されるスロットル弁通過量測定値 $mt2$ とをそれぞれ求めるようにしている。

【0090】ここで、これらスロットル弁通過量推定値 $mt1$ 及びスロットル弁通過量測定値 $mt2$ を用いて求められる下流側吸気圧 $P_{m1}(i)$ 、 $P_{m2}(0)$ 、 $P_{m2}(1)$ 及び下流側吸気温 $T_{m1}(i)$ 、 $T_{m2}(0)$ 、 $T_{m2}(1)$ は、実際の吸気圧や吸気温と比較した場合、以下のような傾向があることが本発明者らの実験によって確認されている。

【0091】即ち、スロットル弁通過量推定値 $mt1$ を用いて求められる下流側吸気圧 $P_{m1}(i)$ 、下流側吸気温 $T_{m1}(i)$ 、及びそれらの比 $P_{m1}/T_{m1}(i)$ に関しては、特に、その時間的な変化が吸気圧や吸気温の実際の時間的な変化を正確に反映する傾向がある。一方、スロットル弁通過量測定値 $mt2$ を用いて求められる下流側吸気圧 $P_{m2}(0)$ 、 $P_{m2}(1)$ 、下流側吸気温 $T_{m2}(0)$ 、 $T_{m2}(1)$ 、及びそれらの比 $P_{m2}/T_{m2}(0)$ 、 $P_{m2}/T_{m2}(1)$ に関しては、定常運転時において吸気圧や吸気温、或いはそれらの比の実際の値とよく一致する傾向がある。

【0092】このため、先の各式(31)～(33)を用いて最終的な予測期間 $t_{fwd}$ 後の下流側吸気圧 $P_{mtfwd}$ 及び下流側吸気温 $T_{mtfwd}$ を算出することにより、過渡運転時にあつては、実際の吸気圧及び吸気温の時間的な変化を正確にその算出に反映させることができるとともに、定常運転時、即ち、

【0093】

【数26】

$$P_{mt1fwd} = P_{m1}(0)$$

$$\frac{P_{mt1fwd}}{T_{mt1fwd}} = \frac{P_{m1}}{T_{m1}}(0)$$

が満たされるときには、

【0094】

【数27】

$$P_{mtfwd} = P_{m2}(0)$$

$$\frac{P_{mtfwd}}{T_{mtfwd}} = \frac{P_{m2}}{T_{m2}}(0)$$

となることから、下流側吸気圧 $P_{mtfwd}$ 及び下流側吸気温 $T_{mtfwd}$ がスロットル弁通過量測定値 $mt2$ のみに基づいて求められるようになる。

【0095】(5) 従って、本実施形態によれば、定常運転時であれ過渡運転時であれ、現時点から予測期間 $t_{fwd}$ 後の下流側吸気圧 $P_{mtfwd}$ 及び下流側吸気温 $T_{mtfwd}$ を正確に推定することができ、ひいては筒内吸入空気量 $m_{ctfwd}$ をより正確に予測することができるようになる。

【0096】(6) 更に、本実施形態では、エアフロー

メータ 41 のガラス層 414 に関する熱平衡モデルを構築し、その逆モデルに基づいて上記スロットル弁通過量測定値  $mt2$  を求めるようにしているため、同層 414 の温度変化についての応答遅れを予め見越してこれを求めることができるようになる。従って、より正確なスロットル弁通過量測定値  $mt2$  を求めることができ、これに基づいて下流側吸気圧  $P_{mtfwd}$  や下流側吸気温  $T_{mtfwd}$  の推定を更に正確に行うことができるようになる。

【0097】第 2 の実施形態】以下、本発明の第 2 の実施形態について第 1 の実施形態との相違点を中心に説明する。

【0098】本実施形態では、吸入空気量を検出するセンサとして吸気圧センサを備える内燃機関に本発明に係る吸入空気量予測装置を適用するようにしている点が第 1 の実施形態と相違している。この吸気圧センサ 46 は、図 6 に示すように、サージタンク 22 に取り付けられており、その内部の吸入空気の圧力、即ち下流側吸気圧  $P_m$  を検出する。

【0099】次に、本実施形態の装置による予測処理の詳細について説明する。図 7 は、筒内吸入空気量  $m_c$  を予測する際の手順の一例を示すフローチャートである。\*

$$m_{i3}(-1) = \frac{1}{T_{ha}} \left\{ \frac{P_{m3}(0) - P_{m3}(-1)}{\Delta t} \cdot \frac{V}{\kappa \cdot R} + T_o(a \cdot P_m(0) - b) \right\} \quad \cdots (35)$$

そして、更にこのスロットル弁通過量測定値  $mt3(-1)$  と、先の式 (16), (17) から得られる次の式 (36), (37) とに基づいて、現時点での下流側吸気温  $T_m(0)$  (以下、「 $T_{m3}(0)$ 」と表記する)、並びに下流

$$\frac{P_{m3}}{T_{m3}}(0) = \frac{P_{m3}}{T_{m3}}(-1) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot \left( m_{i3}(-1) - \frac{T_o}{T_{m3}(-1)} \cdot (a \cdot P_{m3}(-1) - b) \right) \quad \cdots (36)$$

$$T_{m3}(0) = \frac{P_{m3}(0)}{\frac{P_{m3}}{T_{m3}}(0)} \quad \cdots (37)$$

尚、上記ステップ 450 及びステップ 550 において、式 (35) 及び (36) に基づいて下流側吸気温  $T_{m3}(0)$  等を算出する場合、上流側吸気温  $T_{ha}$  は前回の割込タイミングで読み込まれた値が用いられ、また、各定数  $a$ ,  $b$  については前回の割込タイミングでの機関回転数  $NE$  及びバルブタイミング  $VT$  に基づいて設定された値が用いられる。また、今回が最初の割込タイミングである場合には、上流側吸気温  $T_{ha}$  は現時点での値、各定数  $a$ ,  $b$  は機関停止時の機関回転数  $NE$  (=「0」) 及びバルブタイミング  $VT$  に基づいて設定される値が用いられる。

【0103】次に、先の各式 (31), (32) において、「 $P_{m2}(0)$ 」、「 $P_{m2}/T_{m2}(0)$ 」をそれぞれ「 $P_{m3}(0)$ 」、「 $P_{m3}/T_{m3}(0)$ 」に置換した式と、各式 (33), (34) とを用いて、現時点から予測期間  $t_{fwd}$  後の下流側吸気圧  $P_{mtfwd}$ 、下流側吸気温  $T_{mtfwd}$ 、及びそれらの比  $P_{mtfwd}/T_{mtfwd}$  が算出されるとともに、予測

\*この一連の処理は、演算装置 30 により所定時間毎の割込周期 (例えば「8msec.」毎) で実行される。尚、同図 7 に示すステップ 100 及びステップ 200 では、先の図 3 及び図 4 に示すステップ 10.0 及びステップ 20.0 ~ 21.6 と同様の処理が実行されるため、その処理内容の説明は省略する。

【0100】これらステップ 100, 200 の各処理が実行された後、ステップ 350 では、吸気圧センサ 46 の検出信号に基づいて現時点での下流側吸気圧  $P_m(i)$

(以下、「 $P_{m3}(0)$ 」と表記する) が算出される。次に、この今回の割込タイミングにおいて検出された下流側吸気圧  $P_{m3}(0)$  及び前回の割込タイミングにおいて検出された下流側吸気圧  $P_m(i-1)$  (以下、「 $P_{m3}(-1)$ 」と表記する) と、先の式 (15) から得られる次式 (35) とに基づいて、現時点から離散間隔  $\Delta t$  前での (即ち前回の割込タイミングでの) スロットル弁通過量  $mt(i-1)$  (以下、「スロットル弁通過量測定値  $mt3(-1)$ 」という) が算出される (ステップ 450)。

【0101】

【数 28】

※側吸気圧  $P_{m3}(0)$  と下流側吸気温  $T_{m3}(0)$  との比  $P_{m3}/T_{m3}(0)$  がそれぞれ算出される (ステップ 550)。

【0102】

【数 29】

期間  $t_{fwd}$  後における筒内吸入空気量  $m_{ctfwd}$  が算出される (ステップ 650)。

【0104】こうして筒内吸入空気量  $m_{ctfwd}$  が算出された後、次の割込タイミングにおける演算処理の初期値がそれぞれ設定される (ステップ 750)。図 8 は、こうした初期値の設定態様を示すタイミングチャートである。同図では、時刻  $t_1$  において機関運転が開始されるとともに、本ルーチンが開始されるものとする。

【0105】同図に示すように、2 回目以降の割込タイミング (時刻  $t_2$ ,  $t_3$ ) における初期値、即ち下流側吸気圧  $P_{m1}(0)$ ,  $P_{m3}(-1)$ 、下流側吸気温  $T_{m1}(0)$ ,  $T_{m3}(-1)$ 、並びにこれらの比  $P_{m1}/T_{m1}(0)$ ,  $P_{m3}/T_{m3}(-1)$  は、前回の割込タイミングにおいて離散間隔  $\Delta t$  後の値 ( $P_{m1}(1)$  等) 或いは現時点での値として求められた値 ( $P_{m3}(0)$ ,  $T_{m3}(0)$  等) を用いてそれぞれ以下のよう

【0106】

【数 30】

$$\begin{aligned}
 P_{m1}(0) &\leftarrow P_{m1}(1) \\
 P_{m3}(-1) &\leftarrow P_{m3}(0) \\
 T_{m1}(0) &\leftarrow T_{m1}(1) \\
 T_{m3}(-1) &\leftarrow T_{m3}(0) \\
 \frac{P_{m1}}{T_{m1}}(0) &\leftarrow \frac{P_{m1}}{T_{m1}}(1) \\
 \frac{P_{m3}}{T_{m3}}(-1) &\leftarrow \frac{P_{m3}}{T_{m3}}(0) \\
 P_{m3}(-1) &\leftarrow P_{m3}(0)
 \end{aligned}$$

一方、最初の割込タイミング（時刻  $t_1$ ）における初期値については、前回の割込タイミングでの算出値或いは検出値が存在しないことから、以下のように設定される。

【0107】

【数 31】

$$\begin{aligned}
 P_{m1}(0) &\leftarrow P_a \\
 P_{m3}(-1) &\leftarrow P_a \\
 T_{m1}(0) &\leftarrow T_{ha} \\
 T_{m3}(-1) &\leftarrow T_{ha} \\
 \frac{P_{m1}}{T_{m1}}(0) &\leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}} \\
 \frac{P_{m3}}{T_{m3}}(-1) &\leftarrow \frac{P_a}{T_{ha}} \\
 P_{m3}(-1) &\leftarrow P_a
 \end{aligned}$$

このようにして次回の割込タイミングにおける各初期値を設定した後、本ルーチンの処理は一旦終了される。

【0108】以上説明した第2の実施形態においても、第1の実施形態に記載した（1）、（2）、及び（4）に関しては略同等の作用効果を得ることができる。また第1の実施形態に記載した（3）の作用効果については、下流側吸気圧  $P_m$  を検出するための吸気圧センサ 46 が別途必要になるものの、逆にエアフローメータ 41 は不要になり、また、少なくとも下流側吸気温  $T_m$  を検出するセンサを必要としないため、この点では吸入空気量予測装置の構成の簡略化を図ることができるようになる。

【0109】更に、吸気圧センサ 46 の検出信号に基づいて求められる下流側吸気圧  $P_{m3}(0)$ 、 $P_{m3}(1)$ 、下流側吸気温  $T_{m3}(0)$ 、 $T_{m3}(1)$ 、及びそれらの比  $P_{m3}/T_{m3}(0)$ 、 $P_{m3}/T_{m3}(1)$  は、定常運転時において吸気圧や吸気温、或いはそれらの比の実際の値とよく一致する傾向がある。従って、本実施形態によっても第1の実施形態において記載した（5）と同等の作用効果を奏することができる。

【0110】以上説明した各実施形態は、以下のように構成を変更して実施することもできる。

・上記各実施形態では、スロットル弁 24 を通過する吸入空気の量として、スロットル開度  $TA$  等の機関運転状態に基づく推定値と、エアフローメータ 41 や吸気圧セ

ンサ 46 等のセンサの検出信号に基づく実測値とをそれぞれ求め、これら各値を用いて筒内吸入空気量  $mc$  を予測するようにしたが、これら推定値及び実測値の一方に基づいて同予測を行うようにしてもよい。

【0111】・上記各実施形態では、吸気弁 26 のバルブタイミングを変更する機構を備えた内燃機関 10 を想定して筒内吸入空気量  $mc$  の予測を行うようにしたが、同機構を備えていない内燃機関においても同様の手順に従って筒内吸入空気量  $mc$  の予測を行うことができる。

10 【0112】・また、例えば吸気通路 20 の吸入空気の流れを制御する機構、例えば燃焼室 29 に発生するスワールの強度を制御するスワール弁等が同吸気通路 20 内に設けられる内燃機関において上記予測を行う場合には、上記定数  $a$ 、 $b$  及び定常運転時における下流側吸気圧  $P_{mTA}$  及びスロットル弁通過量  $mt_{TA}$  を上記機構の制御量（例えばスワール弁の開度等）の関数として設定するようにする。

【0113】・上記各実施形態の予測処理においては、筒内吸入空気量  $mc$  を求める際に、同空気量  $mc$  を下流側吸気温  $T_m$  及び下流側吸気圧  $P_m$  の関数とする実験式（14）を用いるようにしたが、同空気量  $mc$  を求める方法はこれに限定されるものではない。

【0114】・上記各実施形態では、吸入空気の流体モデルとして得られる上記各式（8）、（9）を離散化し、繰返演算を実行することにより、下流側吸気圧  $P_m$  及び下流側吸気温  $T_m$  を算出するようにしたが、これら各式（8）、（9）を解析的に解いた演算式に基づいて、これら下流側吸気圧  $P_m$  及び下流側吸気温  $T_m$  を算出するようにしてもよい。

30 【0115】・上記各実施形態では、燃料噴射量の算出に用いられる筒内吸入空気量  $mc$  を予測すべく、上記予測期間  $t_{fwd}$  を同燃料噴射量の算出に適した値に設定するようにしたが、この予測処理は予測期間  $t_{fwd}$  を適宜設定することにより、点火時期制御等、その他の機関制御にも適用することができる。

【0116】・上記各実施形態では、図 3 や図 7 に示す予測処理ルーチンの割込周期と、離散間隔  $\Delta t$  とを等しく設定するようにしたが、例えば、この離散間隔  $\Delta t$  を次回の割込タイミングでの初期値を決定できる範囲、即ち割込周期の「 $1/2$ 」倍等、 $1/n$  倍（ $n$ ：整数）となるように変更することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第1の実施形態における吸入空気量予測装置の概略構成図。

【図 2】エアフローメータの検出部の断面図。

【図 3】第1の実施形態の装置による吸入空気量の予測手順を示すフローチャート。

【図 4】同じく吸入空気量を予測する際の手順を示すフローチャート。

50 【図 5】第1の実施形態の装置による各割込タイミング

23

での初期値の設定手順を示すタイミングチャート。

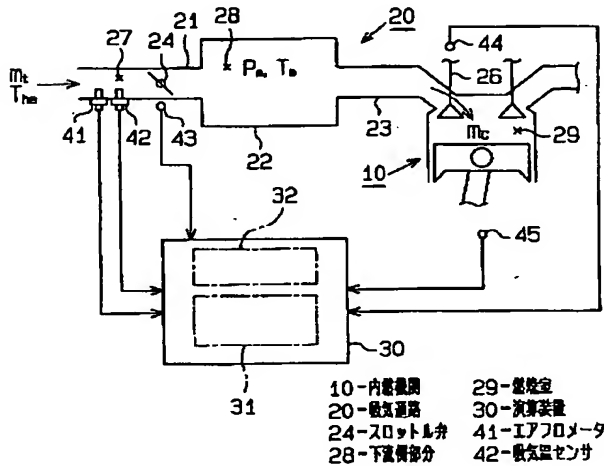
【図 6】第 2 の実施形態における吸入空気量予測装置の概略構成図。

【図 7】第 2 の実施形態の装置による吸入空気量の予測手順を示すフローチャート。

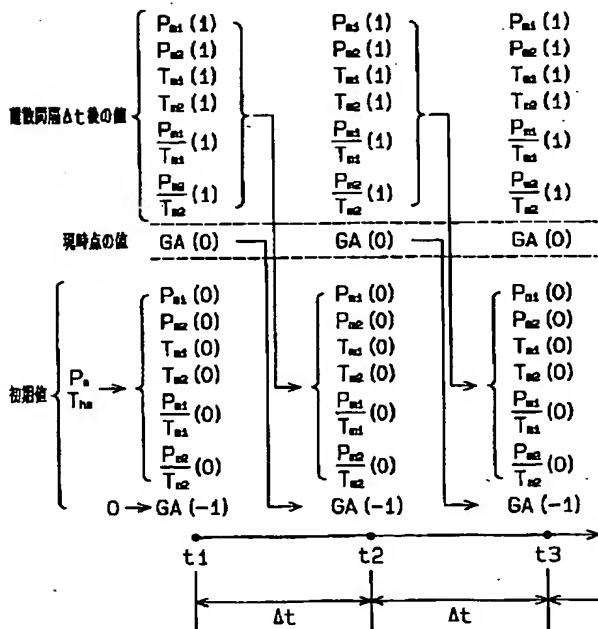
【図 8】第 2 の実施形態の装置による各割込タイミングでの初期値の設定手順を示すタイミングチャート。

【符号の説明】

【図 1】



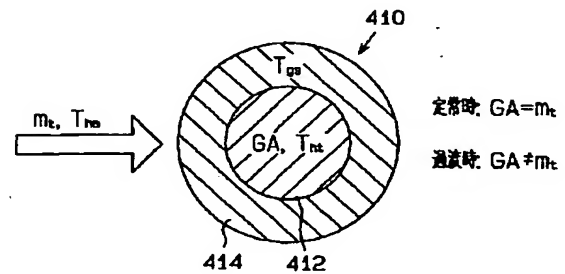
【図 5】



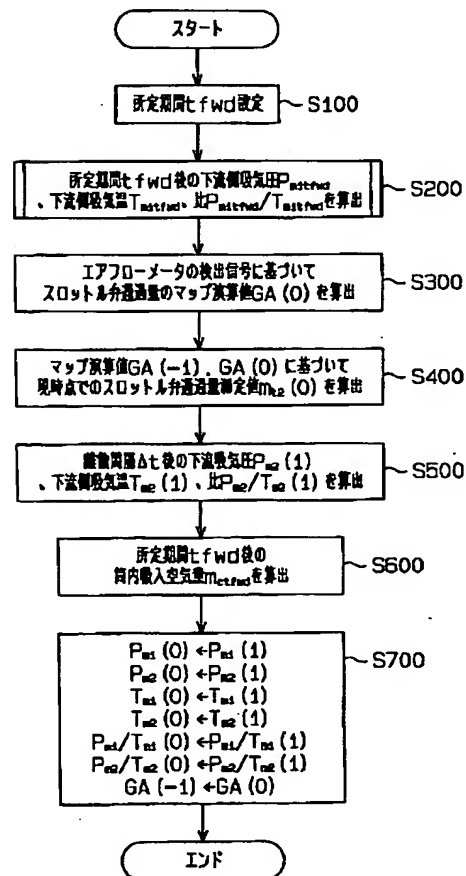
24

10…内燃機関、20…吸気通路、21…スロットルボディ、22…サージタンク、23…吸気ポート、24…スロットル弁、27…上流側部分、28…下流側部分、29…燃焼室、26…吸気弁、30…演算装置、31…演算部、32…メモリ、41…エアフローメータ、42…吸気温度センサ、43…スロットルセンサ、44…カム角センサ、45…クランク角センサ、46…吸気圧センサ、410…検出部、412…熱線。

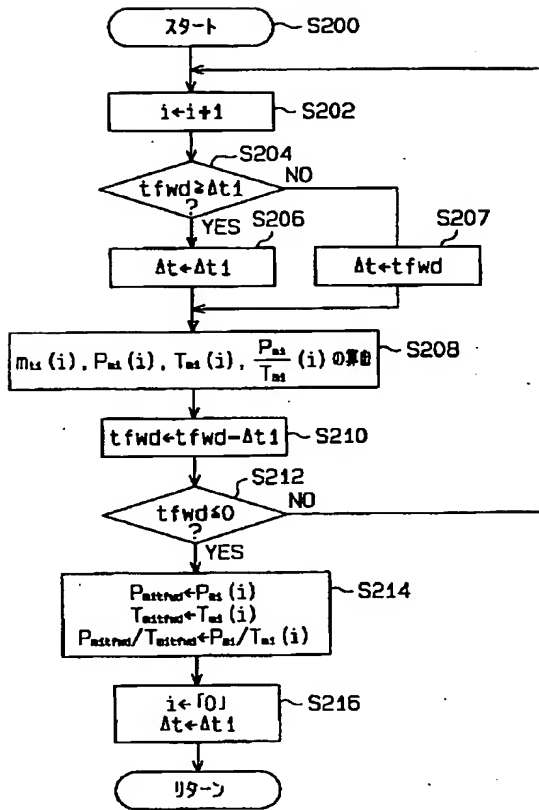
【図 2】



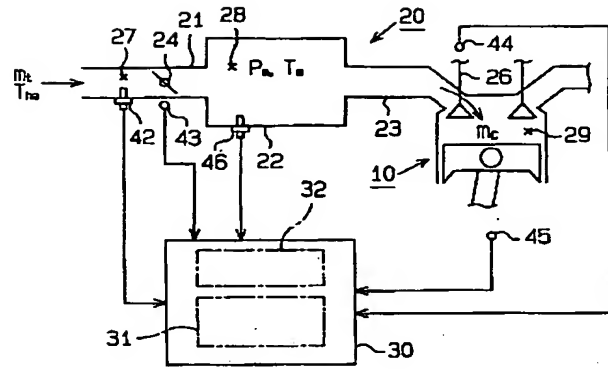
【図 3】



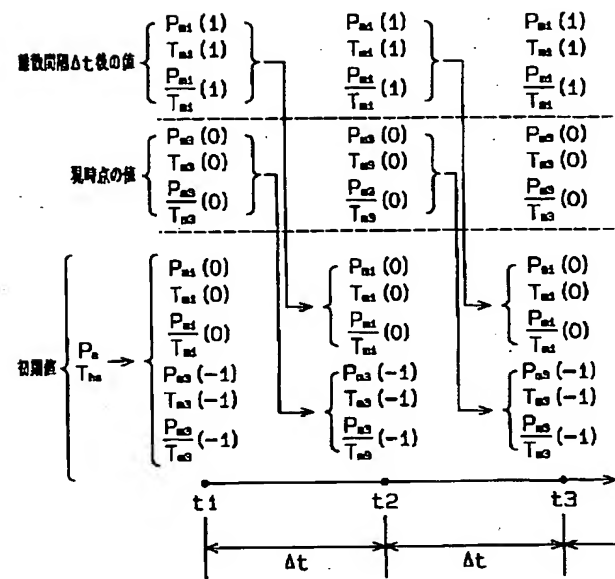
【図4】



【図6】

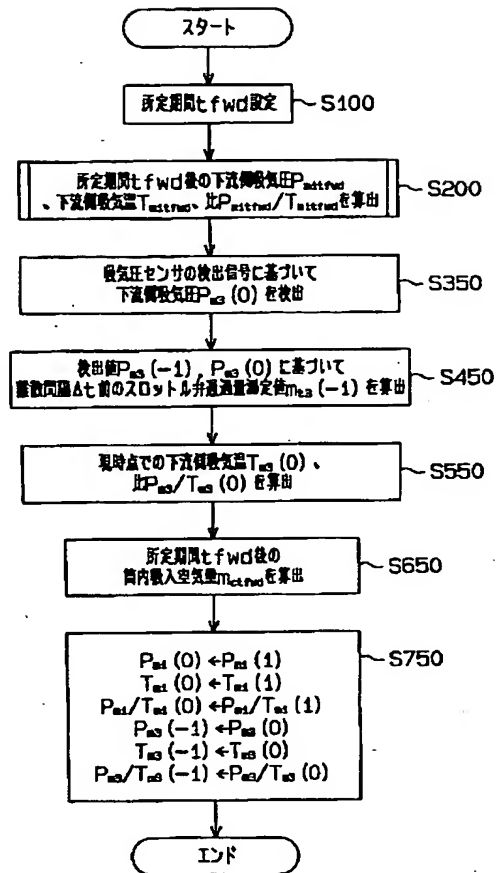


【図8】





【図7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3G084 BA05 DA00 DA04 DA07 EB03  
 EB08 FA02 FA08 FA10 FA33  
 FA38  
 3G301 JA00 LA01 MA12 NA09 NB12  
 NC02 PA04Z PA07Z PA10Z  
 PA11Z PE01Z PE03Z PE10Z